

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**  
**SEDE QUITO**

**CARRERA: INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**Tesis previa a la obtención del título de: INGENIERO ELÉCTRICO**

**TEMA:**

**MODELAMIENTO Y SIMULACIÓN PARA LA ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA  
ELÉCTRICA FUTURA, DE LA EMPRESA ELÉCTRICA QUITO S.A**

**AUTOR:**

**MARCO VINICIO TASHIGUANO GUACHAMIN**

**DIRECTOR:**

**ING. VÍCTOR HUGO OREJUELA LUNA**

**Quito, Marzo de 2015**

## **DECLARATORIA DE AUTORÍA**

Yo autorizo a la Universidad Politécnica Salesiana la publicación total o parcial de este trabajo de grado y su reproducción sin fines de lucro.

Además declaro que los conceptos y análisis desarrollados y las conclusiones del presente trabajo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Quito, 13 de Marzo del 2015

---

**Marco Vinicio Tashiguano Guachamin**

**CI.:1714883004**

**EL AUTOR**

## **CERTIFICA:**

Haber dirigido y revisado cada uno de los capítulos técnicos del informe de la monografía, así como el funcionamiento del “Modelamiento y Simulación para la Estimación de la Demanda Eléctrica Futura, de la Empresa Eléctrica Quito S.A”, realizada por el Sr. Marco Vinicio Tashiguano Guachamin, previa a la obtención del título de Ingeniero Eléctrico en la Carrera de Ingeniería Eléctrica.

Por cumplir los requisitos autoriza su presentación.

Quito, 13 de Marzo del 2015

---

**Ing. Víctor Hugo Orejuela Luna**

**DIRECTOR**

## **DEDICATORIA.**

*Quiero dedicar mi trabajo a Dios por ser eje fundamental en mi vida,  
a mis padres Rosario y Vicente  
porque siempre confiaron en mí a pesar de las adversidades,  
a mi esposa Ana María e hija Ana Elizabeth  
por ser mi inspiración para superarme cada día  
y haber soportado este largo trajín de estudios,  
a mis hermanos: Verónica, Roció, Patricio, Klever, Pablo y María  
por siempre haberme dado una palabra de apoyo,  
y a mis amigos de aulas que gracias a ellos fue más llevadera esta carrera,  
a todos, DIOS LES PAGUE.*

## **AGRADECIMIENTO.**

*Quiero agradecer a la Educación Salesiana por haber formado en mí,  
un buen cristiano y honrado ciudadano,  
a mis maestros  
que impartieron sus conocimientos a lo largo de la carrera,  
al Ing. Víctor Hugo Orejuela Luna gracias por su conocimiento tiempo y apoyo  
y por último y no menos importante al Ing. Joffre Constante,  
por su apoyo y amistad.*

## ÍNDICE GENERAL

DECLARATORIA DE AUTORÍA.....	II
CERTIFICA:.....	III
DEDICATORIA.....	IV
AGRADECIMIENTO.....	V
ÍNDICE GENERAL.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	X
ÍNDICE DE TABLAS.....	XII
ÍNDICE DE ANEXOS.....	XIII
GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	XIV
RESUMEN.....	XV
ABSTRACT.....	XVI
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I.....	2
GENERALIDADES SOBRE LA DEMANDA ELÉCTRICA.....	2
1.1    Demanda eléctrica.....	2
1.2    Importancia de la estimación de la demanda eléctrica.....	4
1.2.1    Cobertura de potencia y energía.....	5
1.2.2    Calidad.....	6
1.2.3    Eficiencia.....	6
1.2.4    Costo.....	7
1.3    Factores que influyen en la estimación de la demanda eléctrica.....	7
1.3.1    Datos históricos.....	8
1.3.2    PIB / Nivel socioeconómico.....	8
1.3.3    Factores geográficos.....	9
1.3.1    Crecimiento demográfico.....	9
1.4    Análisis de la demanda de la Empresa Eléctrica Quito S.A.....	9
1.4.1    Área de concesión.....	9
1.4.2    Accionistas.....	10
1.4.3    Características del sistema de distribución.....	11
1.4.4    Clasificación de los consumidores.....	11
1.4.5    Balance de energía y potencia.....	13
1.4.6    Consumo de energía eléctrica en el Ecuador.....	14
1.4.7    Perdidas de Energía de la Empresa Eléctrica Quito S.A.....	16
1.4.8    Sistema eléctrico de la Empresa Eléctrica Quito S.A.....	17

1.4.8.1	Centrales de generación.....	17
1.4.8.2	Subestación de distribución.....	18
1.4.8.3	Subestaciones de la Empresa Eléctrica Quito S.A. ....	18
1.4.8.4	Líneas de transmisión y subtransmisión .....	19
1.4.8.5	Pronostico de demanda.....	20
1.4.8.6	Pronóstico de la demanda de subestaciones.....	20
1.4.8.7	Pronóstico de la demanda eléctrica del sistema .....	23
1.4.8.8	Curvas de potencia, energía y pérdidas futuras de la Empresa Eléctrica Quito S.A.....	25
CAPÍTULO II .....		27
MODELOS MATEMÁTICOS APLICADOS A LA ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA ELÉCTRICA.....		27
2.1	Conceptos básicos de modelos de estimación.....	27
2.1.1	Propósito de un modelo matemático.....	27
2.1.2	Proceso básico de un modelamiento matemático.....	28
2.2	Métodos y modelos de estimación usados en la actualidad .....	28
2.3	Aplicación de los principales modelos .....	30
2.3.1	Modelos cualitativos.....	30
2.3.1.1	Método de Delphi .....	31
2.3.1.2	Matrices de impacto cruzado .....	31
2.3.2	Modelos de tendencia.....	32
2.3.2.1	Métodos de regresión simple .....	32
2.3.2.1.1	Regresión lineal.....	32
2.3.2.1.2	Regresión Exponencial.....	33
2.3.2.1.3	Regresión polinomial.....	33
2.3.2.1.4	Regresión Logarítmica .....	33
2.3.2.2	Método de regresión múltiple.....	34
2.3.3	Modelos de Series de Tiempo.....	34
2.3.3.1	Método de Suavizamiento .....	35
2.3.3.1.1	Medias Móviles .....	35
2.3.3.1.2	Suavizamiento Exponencial.....	36
2.3.3.1.3	Método de Winter.....	37
2.3.3.2	Método de descomposición .....	38
2.3.4	Modelos ARMA de Box – Jenkins.....	40
2.3.4.1	Modelo Autoregresivo AR (p).....	40
2.3.4.2	Modelo de Medias Móviles MA (q): .....	40
2.3.4.3	Modelo Autoregresivo de Medias Móviles (ARMA (p, q)).....	41
2.3.4.4	Modelo ARMA Integrado (ARIMA).....	41

2.3.4.5	Modelo ARIMA estacional (SARIMA).....	41
2.4	Selección de modelo más apropiado.....	42
2.4.1	Modelo matemático a aplicarse .....	42
2.4.1.1	Método de regresión simple .....	42
2.4.1.2	Método de regresión polinomial.....	43
2.4.1.3	Método de regresión lineal múltiple .....	44
CAPÍTULO III.....		46
MODELO COMPUTACIONAL PARA LA ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA .....		46
3.1	Modelo matemático .....	46
3.1.1	Método de suavizamiento.....	46
3.1.1.1	Método de promedios o medias móviles .....	47
3.1.1.2	Aplicación de regresión.....	47
3.1.1.3	Determinación de los parámetros del modelo por mínimos cuadrados .....	49
3.1.1.4	Coefficiente de determinación .....	51
3.1.2	Modelo digital .....	52
3.1.3	Introducción a Matlab.....	52
3.1.3.1	Uso de matrices .....	53
3.1.3.2	Ventanas de Matlab.....	54
3.2	Datos de entrada .....	56
3.2.1	Producto interno bruto (PIB) .....	56
3.2.2	Cientes Totales EEQ S.A .....	57
3.2.3	Población EEQ S.A.....	59
3.2.4	Datos de potencia y energía.....	60
3.3	Resultados de salida .....	61
3.4.2	Modelo Lineal .....	62
3.4.3	Modelo Polinomial .....	65
3.4.4	Modelo Multivariable.....	68
3.5	Manual del usuario .....	69
CAPÍTULO IV.....		76
APLICACIÓN DEL MODELO A LA ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA ELÉCTRICA DE LA EEQ S.A.....		76
4.1	Planteamiento de escenarios.....	76
4.1.1	Escenario 1 .....	76
4.1.2	Escenario 2.....	76
4.1.3	Escenario 3.....	77
4.1.3.1	Transporte .....	77
4.1.3.2	Programas de Eficiencia Energética .....	79



4.1.3.2.1	Sustitución de refrigeradores .....	79
4.1.3.2.2	Sustitución de luminarias de alumbrado publico .....	80
4.1.3.2.3	Eficiencia energética en la actividad industrial.....	81
4.1.3.2.4	Eficiencia energética en edificios públicos.....	82
4.1.3.3	Programa de cocción eficiente.....	82
4.1.3.4	Calentamiento de agua .....	83
4.2	Simulación de escenarios y aplicación del modelo.....	84
4.2.1	Simulación del escenario 1 .....	84
4.2.2	Simulación del escenario 2.....	86
4.2.3	Simulación de escenario 3 .....	89
4.3	Análisis de resultados .....	90
4.3.1	Escenario 1 .....	90
4.3.2	Escenario 2.....	92
4.3.3	Escenario 3.....	93
4.4	Comparación de resultados.....	93
4.4.1	Comparación de resultados escenario 1.....	93
4.4.2	Comparación de resultados escenario 2.....	95
4.4.3	Comparación de los resultados escenario 3 .....	96
	Conclusiones.....	97
	Recomendaciones.....	98
	Referencias.....	99
	ANEXOS .....	101
	ANEXO A.....	102
	ANEXO B.....	105
	ANEXO C.....	119
	ANEXO D.....	121
	ANEXO E.....	125

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Factor de potencia.....	3
Figura 1.2: Importancia de la demanda dentro de la planificación.....	4
Figura 1.3: Exceso de oferta.....	5
Figura 1.4: Exceso de demanda.....	5
Figura 1.5: Equilibrio entre generación y demanda.....	7
Figura 1.6: Factores que inciden en la estimación de la demanda de energía eléctrica.....	8
Figura 1.7: Áreas de concesión de las Distribuidoras.....	10
Figura 1.8: Composición accionaria de laEEQ S.A.....	11
Figura 1.9: Abonados-Facturación EEQ S .A.....	14
Figura 1.10: Consumo nacional por áreas de concesión.....	15
Figura 1.11: Distribución porcentual de abonados regulados por área de concesión.....	15
Figura 1.12: Balance de energía EEQ S.A.....	16
Figura 1.13: Perdidas de energía EEQ S.A.....	17
Figura 1.14: Pronóstico de Potencia EEQ S.A.....	25
Figura 1.15: Pronóstico de Energía EEQ S.A.....	25
Figura 1.16: Pronóstico de Pérdidas EEQ S.A.....	26
Figura 2.1: Proceso básico de un modelamiento matemático.....	28
Figura 2.2: Modelos matemáticos de estimación.....	30
Figura 2.3: Regresión Lineal.....	32
Figura 2.4: Regresión Exponencial.....	33
Figura 2.5: Regresión Polinomial.....	33
Figura 2.6: Regresión Logarítmica.....	34
Figura 3.1: Ventana de edición de programación.....	54
Figura 3.2: Ventana de comando.....	55
Figura 3.3: Ventana Guide.....	55
Figura 3.4: Evolución del PIB per cápita en Ecuador.....	57
Figura 3.5: Evolución de clientes totales EEQ S.A.....	58
Figura 3.6: Evolución de la población EEQ S.A.....	59
Figura 3.7: Potencia y Energía EEQ S.A.....	61
Figura 3.8: Potencia máxima-año.....	62
Figura 3.9: Potencia máxima-PIB.....	62
Figura 3.10: Potencia máxima-CT.....	63
Figura 3.11: Consumo total-año.....	63
Figura 3.12: Consumo tota PIB.....	64
Figura 3.13: Consumo total-CT.....	64
Figura 3.14: Potencia máxima-año.....	65
Figura 3.15: Potencia máxima-PIB.....	65
Figura 3.16: Potencia máxima-CT.....	66
Figura 3.17: Consumo total-año.....	66
Figura 3.18: Consumo tota PIB.....	67
Figura 3.19: Consumo total-CT.....	67
Figura 3.20: Potencia máxima-año/PIB.....	68
Figura 3.21: Consumo total-año/CT.....	68
Figura 4.1: Estimación de potencia.....	85
Figura 4.2: Estimación de energía.....	86
Figura 4.3: Estimación pesimista, probable y optimista EEQ S.A.....	87
Figura 4.4: Estimación pesimista, probable y optimista MM1.....	88

Figura 4.5: Estimación pesimista, probable y optimista MM2.....	89
Figura 4.6: Simulación escenario 3.....	90
Figura 4.7: Comparación de estimaciones de potencia máxima.....	94
Figura 4.8: Comparación de estimaciones de energía.....	95
Figura 4.9: Comparación de potencia pesimista, probable y optimista.....	95
Figura 4.10: Comparación de energía pesimista, probable y optimista.....	96

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Composición accionaria de EEQ S.A.....	10
Tabla 1.2: Estratos de consumo EEQ S.A.....	12
Tabla 1.3: Consumidores y consumo facturado EEQ S.A.....	13
Tabla 1.4: Balance de energía EEQ S.A.....	16
Tabla 1.5: Subestaciones de la EEQ S.A.....	19
Tabla 1.6: Cargas de primarios de demanda máxima de las subestaciones.....	21
Tabla 1.7: Predicción de la demanda EEQ S.A.....	24
Tabla 3.1: Año-PIB per cápita-% crecimiento.....	57
Tabla 3.2: Clientes totales EEQ S.A.....	58
Tabla 3.3: Población EEQ S.A.....	59
Tabla 3.4: Datos de potencia y energía EEQ S.A.....	60
Tabla 4.1: Tasa de crecimiento promedio anual.....	77
Tabla 4.2: Consumo eléctrico por introducción de vehículos eléctricos.....	78
Tabla 4.3: Carga de transporte público.....	78
Tabla 4.4: Demanda de transporte público.....	79
Tabla 4.5: Ahorro en el consumo por sustitución de refrigeradores.....	80
Tabla 4.6: Ahorro en el consumo por sustitución de lámparas.....	81
Tabla 4.7: Ahorro en el consumo eléctrico industrial.....	81
Tabla 4.8: Ahorro en el consumo eléctrico de edificios públicos.....	82
Tabla 4.9: Consumo eléctrico por cocinas eléctricas.....	82
Tabla 4.10: Consumo eléctrico por calentamiento de agua.....	83
Tabla 4.11: Aumento de carga EEQ S.A.....	83
Tabla 4.12: Estimación de potencia.....	84
Tabla 4.13: Estimación de energía.....	85
Tabla 4.14: Estimación pesimista, probable y optimista EEQ S.A.....	86
Tabla 4.15: Estimación pesimista, probable y optimista MM1.....	87
Tabla 4.16: Estimación pesimista, probable y optimista MM2.....	88
Tabla 4.17: Cargas adicionales y eficiencia energética EEQ S.A.....	89
Tabla 4.18: Diferencia entre estimaciones de potencia.....	91
Tabla 4.19: Diferencia entre estimaciones de energía.....	91
Tabla 4.20: Diferencia MM1.....	92
Tabla 4.21: Diferencia MM2.....	92
Tabla 4.22: Diferencia cargas adicionales y ahorro energético.....	93
Tabla 4.23: Crecimiento futuro EEQ S.A.....	94
Tabla 4.24: Comparación de estimaciones-dato real 2014 EEQ S.A.....	96

## ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A.....	102
Carta de pedido para obtención de datos históricos de la Empresa Eléctrica Quito S.A.....	102
ANEXO B.....	105
Programación MATLAB.....	105
ANEXO C.....	119
Métodos de estimación aplicada en cada grupo de consumo, metodología aplicada por el CONELEC.....	119
ANEXO D.....	121
Tablas comparativas de estimación; EEQ S.A, CONELEC, Modelo lineal, no lineal univariable y multivariable.....	121
ANEXO E.....	125
Diagrama de flujo Estimación de la Demanda de Energía Eléctrica.....	125

## **GLOSARIO DE TÉRMINOS**

CENACE	Corporación Centro Nacional de Control de Energía
EEQ S.A.	Empresa Eléctrica Quito S.A.
CONELC	Consejo Nacional de Electricidad
CELEP EP	Corporación Eléctrica del Ecuador
INEC	Instituto Nacional de Estadísticas y Censos
BCE	Banco Central del Ecuador
AT	Alta tensión
MT	Media tensión
MW	Megavatio
MWh	Megavatio hora
GWh	Gigavatio hora
PIB	Producto interno bruto
POB	Población
PME	Plan maestro de electrificación
MM	Modelo matemático
MM1	Modelo matemático variable 1
MM2	Modelo matemático variable 2
SNI	Sistema Nacional Interconectado
MATLAB	MATrix LABoratory

## RESUMEN

# MODELAMIENTO Y SIMULACIÓN PARA LA ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA ELÉCTRICA FUTURA, DE LA EMPRESA ELÉCTRICA QUITO S.A

Marco Vinicio Tashiguano Guachamin

marcotashiguano@gmail.com

Universidad Politécnica Salesiana

**Resumen:** El presente proyecto de tesis muestra un modelo matemático y digital que permite la estimación de la demanda de potencia y energía eléctrica futura, de la Empresa Eléctrica Quito S.A.

El modelo consta de algoritmos lineales y no lineales, que simulan la demanda de potencia y energía eléctricas a partir de valores históricos y de su correlación con otras variables independientes, para tres escenarios de estimación de la demanda futura.

Como parte de esta investigación se presenta una síntesis de los métodos y modelos usualmente empleados para la estimación de la demanda eléctrica.

Los resultados de la aplicación del modelo, con funciones lineales y no lineales, son comparados con las estimaciones realizadas por la EEQ y por el CONELEC y sobre esa base se presentan las Conclusiones y Recomendaciones más importantes

**Palabras clave.-** Demanda eléctrica de potencia, demanda eléctrica de energía, estimación de la demanda, modelado matemático, escenarios de demanda, funciones de correlación.

## ABSTRACT

# MODELING AND SIMULATION FOR ESTIMATING THE FUTURE ELECTRICITY DEMAND, OF THE QUITO S.A ELECTRIC COMPANY

Marco Vinicio Tashiguano Guachamin

marcotashiguano@gmail.com

Salesian Polytechnic University

**Abstract:** The present thesis project presents a mathematical and a digital model for the estimation of the future power and electrical energy demand, of the Quito Electric Company. (EEQ)

The model consists of linear and non-linear algorithms that simulate the power and energy demand based on historical values and its correlation with other independent variables, for three scenarios of future demand.

As part of this research work a synthesis of methods and models usually employed for the estimation of electricity demand are presented.

The results of the application of the model, with linear and non-linear functions, are compared to the estimates made by the EEQ and by the CONELEC, and on this basis the more relevant conclusions and recommendations are also presented

**Key words.** - Electric power, energy demand, demand estimation, mathematical modeling, demand scenarios, correlation functions.



## INTRODUCCIÓN

El consumo de la energía eléctrica está en constante crecimiento, de allí la importancia de disponer de una adecuada estimación de la demanda de energía eléctrica futura, sustentada en un método que considere las variables endógenas y exógenas; y las características y atributos de las nuevas redes eléctricas inteligentes (Smart grids), con su correspondiente normativa.

El emplear una inadecuada estimación de la demanda, puede tener como consecuencia ya sea una subestimación de la demanda o, una sobreestimación de la demanda. Con una subestimación de la demanda, la disponibilidad de potencia y energía no cubrirán apropiadamente la demanda, situación que causaría consecuencias adversas técnicas, sociales y económicas; por el contrario, si hay una sobrestimación de la demanda, la oferta de potencia y energía será superior a la demanda, con los correspondientes efectos económicos adversos de incurrir en inversiones innecesarias. Por esta razón se hace necesario el disponer de un modelo matemático apropiado, implementado a través de un modelo computacional amigable, que garanticen confiabilidad en los resultados de la estimación de la demanda futura.

El trabajo de investigación se centra en la selección de un modelo matemático que permita estimar el crecimiento de la demanda eléctrica en la EEQ S.A.; sobre la base de los datos históricos que ordenados y tratados sistemáticamente, sirvan para realizar las estimaciones de la demanda futura.

Adicionalmente, el trabajo pretende generar información que además de servir para la estimación de la demanda eléctrica de potencia y energía futuras; a su vez ayude a comprender la incidencia de las variables endógenas y exógenas en la demanda de energía eléctrica.

# CAPÍTULO I

## GENERALIDADES SOBRE LA DEMANDA ELÉCTRICA

En el presente capítulo se define la demanda eléctrica y sus conceptos; la importancia de la estimación de la demanda eléctrica dentro de los aspectos de cobertura, calidad, eficiencia y costos; se define los factores que influyen en el corto, mediano y largo plazo para la estimación de la demanda eléctrica y se realiza un breve análisis de la situación actual de la Empresa Eléctrica Quito S.A., sus niveles de demanda, consumidores, pérdidas y estimaciones realizadas por su Departamento Técnico y la importancia de la demanda a nivel nacional de dicha empresa.

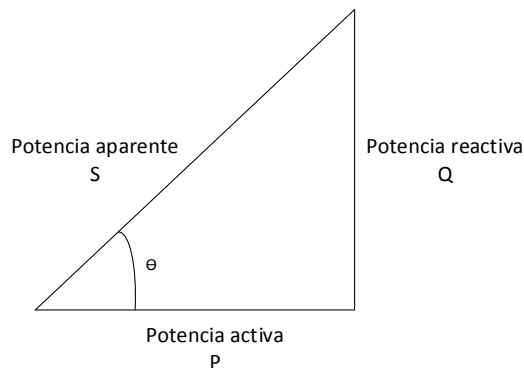
### 1.1 Demanda eléctrica

La demanda eléctrica, es la cantidad de potencia que un abonado utiliza en un periodo determinado de tiempo. La variación de la demanda en un periodo determinado de tiempo para una carga dada, origina una curva de demanda.

Las definiciones que se utilizan de manera común en un análisis y estimación de la demanda se describen a continuación:

- **Demanda promedio.** Es la demanda media requerida por un sistema en un periodo determinado de tiempo.
- **Demanda máxima.** Es la carga máxima requerida de un sistema eléctrico de potencia en un determinado tiempo.
- **Demanda máxima coincidente.** Es la suma de varias cargas que tienen la probabilidad de estar en servicio al mismo tiempo para producir una demanda máxima.
- **Demanda futura.** Corresponde a la estimación de la demanda máxima por potencia y energía de un periodo representativo proyectada en un periodo n.
- **Carga instalada.** Se refiere a la suma de potencias nominales de aparatos o equipos que se encuentran conectados a un sistema eléctrico de potencia o parte de él.
- **Capacidad instalada o capacidad nominal del sistema.** Se refiere a la suma de potencias nominales de equipos (transformadores, generadores), instalados a líneas que suministran de potencia eléctrica, para abastecer demandas de tipo residencial, comercial, industrial, alumbrado público y otros.

- **Factor de demanda.** Es la relación entre la demanda máxima y su carga total instalada. El factor de demanda generalmente será menor que uno, siendo uno solo cuando, durante un intervalo considerado, todos los aparatos conectados a la carga estuviesen absorbiendo sus potencias nominales.
- **Factor de carga.** Es la relación entre la demanda promedio y la demanda máxima, la cual señala el grado de variación de la carga con respecto al máximo valor registrado en un determinado tiempo.
- **Factor de potencia.** Es la relación entre la potencia activa y la potencia aparente determinada en el sistema o en uno de sus componentes.



**Figura 1.1:** *Factor de potencia*

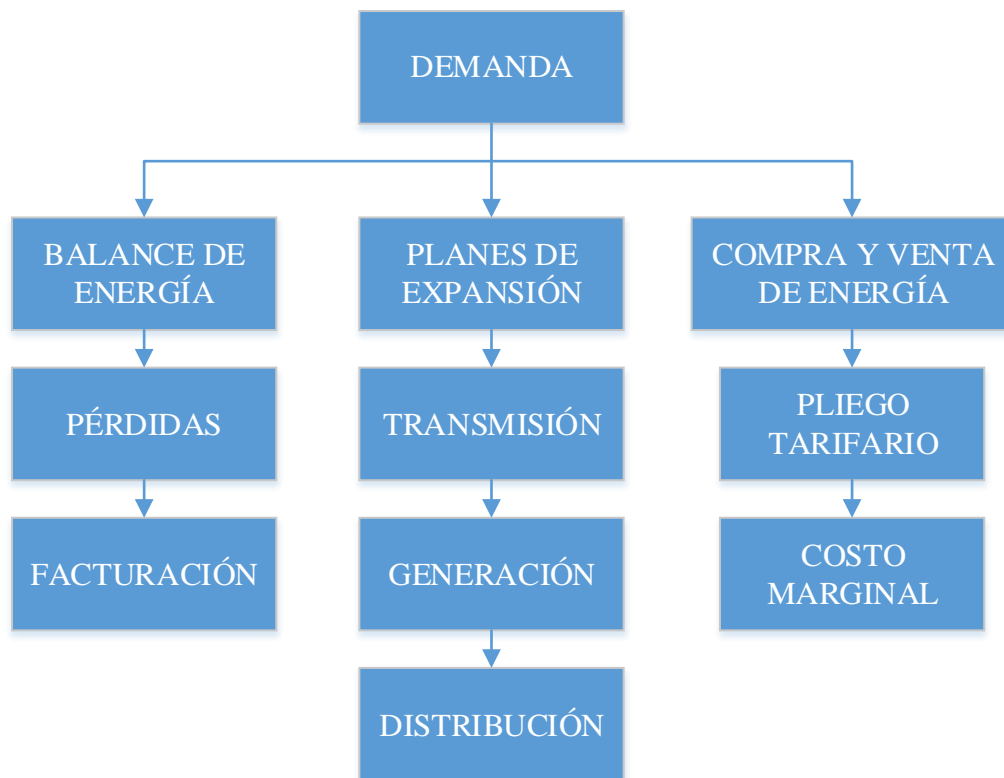
**Fuente:** *Autoría propia*

- **Curva de demanda.** En esta se muestra el consumo diario de energía eléctrica, dentro de un horario, de ella se obtiene la demanda máxima de potencia y energía.
- **Sistema de distribución.** Conjunto de instalaciones para la distribución de energía, conformado por líneas de subtransmisión, subestaciones, alimentadores primarios, transformadores de distribución, redes secundarias, acometidas y medidores de energía eléctrica.
- **Abonado.** Persona natural o jurídica que recibe el servicio de energía eléctrica de la empresa eléctrica distribuidora en cuya área de concesión está ubicada y cuyo abastecimiento de energía eléctrica está sujeto a las regulaciones y tarifas establecidas en la ley y reglamentos correspondientes. Se clasifican en residenciales, comerciales, industriales, alumbrado público y otros.[3],[9]

## 1.2 Importancia de la estimación de la demanda eléctrica

La estimación de la demanda eléctrica es de vital importancia para la toma de decisiones operativas y estratégicas de la EEQ S.A por lo cual, el contar con estimaciones de corto, mediano y largo plazo que se acerquen a la realidad, podrían garantizar el suministro de energía eléctrica.

La estimación de la demanda de energía eléctrica futura de la EEQ S.A se basa en un procedimiento sistemático que permite definir cuantitativamente la demanda futura, debe procurarse que los resultados sean lo más exactos posibles, sin olvidar la presencia de incertidumbres.

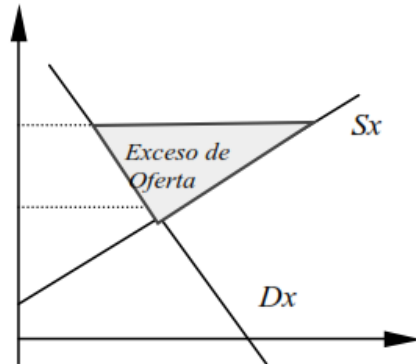


**Figura 1.2:** *Importancia de la demanda dentro de la planificación*  
**Fuente:** CONELEC, Estudio y gestión de la demanda eléctrica

La importancia de la estimación de la demanda eléctrica radica en cuatro aspectos fundamentales:

### 1.2.1 Cobertura de potencia y energía.

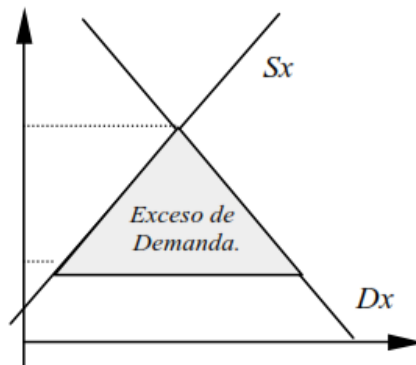
Se refiere al exceso de oferta o demanda del sector eléctrico, a la capacidad que tiene la empresa distribuidora en este caso la EEQ S.A, de entregar energía eléctrica a un determinado sector.



**Figura 1.3:** *Exceso de Oferta*

**Fuente:** *Predicción de la demanda eléctrica horaria mediante redes Neuronales Artificiales*

La figura 1.3 muestra un exceso de oferta, es decir la electricidad producida y no consumida, esta situación representa pérdidas asociadas a una asignación ineficiente de las fuentes primarias, este exceso de oferta se puede ocasionar por una ineficiente estimación de la demanda eléctrica futura.



**Figura 1.4:** *Exceso de Demanda*

**Fuente:** *Predicción de la demanda eléctrica horaria mediante redes Neuronales Artificiales*

La figura 1.4 muestra un exceso de demanda, es decir que la empresa distribuidora no alcanza a satisfacer la petición de servicio eléctrico lo que conlleva a problemas sociales y económicos.[4]

### **1.2.2 Calidad**

La demanda de energía eléctrica actualmente tiene niveles de crecimiento considerables, debido a las nuevas tecnologías que aumentan continuamente los niveles de productividad, este aumento de productividad es directamente proporcional con el consumo de energía eléctrica.

La calidad de energía es considerada como la calidad de tensión, corriente y disponibilidad del suministro de energía eléctrica, considerando falta de calidad a cualquier inconveniente de esas magnitudes.

A nivel local no existe una definición aceptada de término calidad de energía, por lo cual se utilizan los estándares internacionales siguientes:

- Estándar IEC 61000-4-30: Define a la calidad de energía eléctrica como las características de la electricidad en un punto dado de la red de energía eléctrica, evaluadas con relación a un conjunto de parámetros técnicos de referencia.
- Estándar IEEE 1159-1995: Define a la calidad de energía eléctrica como una gran variedad de fenómenos electromagnéticos que caracterizan la tensión y la corriente en un instante dado y en un punto determinado de la red eléctrica.[5]

La estimación de la demanda eléctrica es importante al momento de realizar la planificación de aumento de capacidad de generación, transmisión y distribución, para mantener óptimos niveles de tensión y corriente suministradas y así evitar el mal funcionamiento o la avería de los equipos conectados a la red de distribución.

### **1.2.3 Eficiencia**

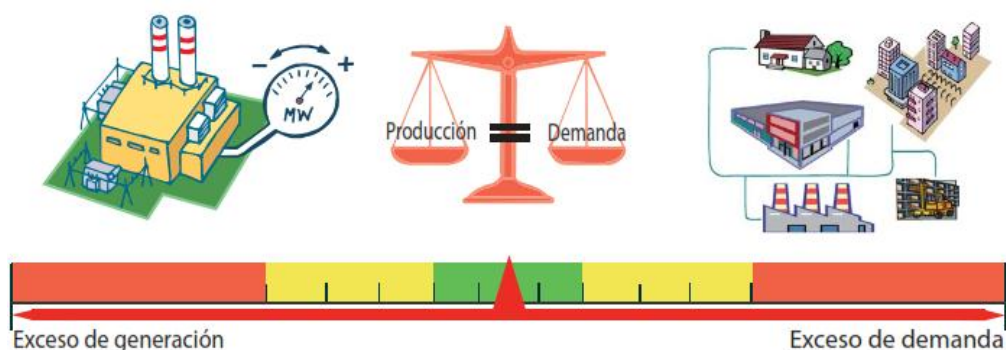
En la estimación de la demanda eléctrica futura, la eficiencia hace referencia a los recursos utilizados y los resultados obtenidos. Las situaciones adversas a las que actualmente se enfrentan las empresas distribuidoras son entre otras: diferencia entre demanda planificada y la oferta, falta de funciones analíticas, carencia de visibilidad de la demanda e información inconsistente entre la empresa y los usuarios, un mercado cambiante, etc.

Por esta razón se necesita realizar un cálculo eficiente de estimaciones de la demanda, para lograr una mayor previsión en la misma.

### 1.2.4 Costo

La energía eléctrica al no ser un bien de consumo almacenable, es decir debe generarse, transportarse y consumirse en un mismo instante de tiempo, debe mantener en todo instante un equilibrio entre producción y demanda.

El realizar una adecuada estimación de la demanda eléctrica en el corto, mediano y largo plazos, puede llevar a minimizar los gastos incurridos por un exceso de generación o exceso de demanda.



**Figura 1.5:** Equilibrio entre generación y demanda

**Fuente:** [www.ree.es](http://www.ree.es)

### 1.3 Factores que influyen en la estimación de la demanda eléctrica

La demanda de energía eléctrica futura está sujeta a alteraciones debido a un gran número de factores que inciden directamente en su estimación.

El objetivo principal de cualquier empresa es el poder estimar con la mayor precisión las cargas futuras, entonces la estimación se puede clasificar, en horizontes temporales, como: largo plazo (1-20 años), medio plazo (1-12 meses), y corto plazo (1-4 semanas antes).

En el corto plazo el objetivo es alcanzar la planificación de las operaciones tácticas, además de realizar las decisiones del día a día (operaciones en los mercados diarios).

Los factores que influyen en el corto plazo son la hora del día, la temperatura horaria, la humedad horaria, la velocidad del viento horaria, etc.

La estimación de la demanda en el mediano plazo es necesaria para establecer el calendario de mantenimiento de las plantas generadoras y del sistema de transmisión, así como el abastecimiento de combustible en las centrales térmicas.

En el mediano plazo influyen factores climáticos, las condiciones socioeconómicas tales como el PIB, los tipos de intereses, etc., así también las variables demográficas y

tecnológicas.

La estimación de la demanda a largo plazo, es una previsión de vital importancia para las empresas distribuidoras, que se utiliza para la planificación de la expansión de sistema generador, el sistema de transporte, y en la planificación de la tarifa. Una adecuada estimación del consumo a largo plazo puede anticipar una capacidad de generación óptima.

En la figura 1.6 se muestran los factores que se deben tener en cuenta para una estimación de la demanda eléctrica futura. [10]



**Figura 1.6:** Factores que inciden en la estimación de la demanda de energía eléctrica.

**Fuente:** Basado en GONEN, Turan. *Electric Power Distribution System Engineering*. McGraw-Hill, 1986.

### 1.3.1 Datos históricos

La información histórica es de gran importancia en la estimación de la demanda de energía eléctrica futura, pues con estos datos se puede generar patrones de consumo, los cuales se pueden analizar año a año y estimar a un determinado tiempo.

### 1.3.2 PIB / Nivel socioeconómico

Existe una relación favorable entre el consumo de energía eléctrica y el PIB, el incremento del PIB puede producir cambios en una sociedad como: incremento del equipamiento de los hogares o industrias, aumento de la cantidad de electrodomésticos,



variación de la frecuencia de utilización de los equipos, conciencia en ahorro energético o aumento de consumo, etc.

### **1.3.3 Factores geográficos**

El consumo de energía eléctrica de una zona varía en relación con la humedad, temperatura, velocidad del viento, etc.; las cuales son distintas para las estaciones del año y la zona geográfica donde se encuentre. Todos los factores climáticos afectan la demanda de energía eléctrica, pero la temperatura es una de las más importantes debido a que los consumidores tienen comportamientos diferentes dependiendo de esta variable, es así que en ciudades frías existe una mayor utilización de calefacción, en cambio en ciudades calurosas aumenta el uso de aire acondicionado o ventiladores; incrementándose el consumo de energía eléctrica dependiendo de la estación en que se encuentren invierno o verano.

### **1.3.1 Crecimiento demográfico**

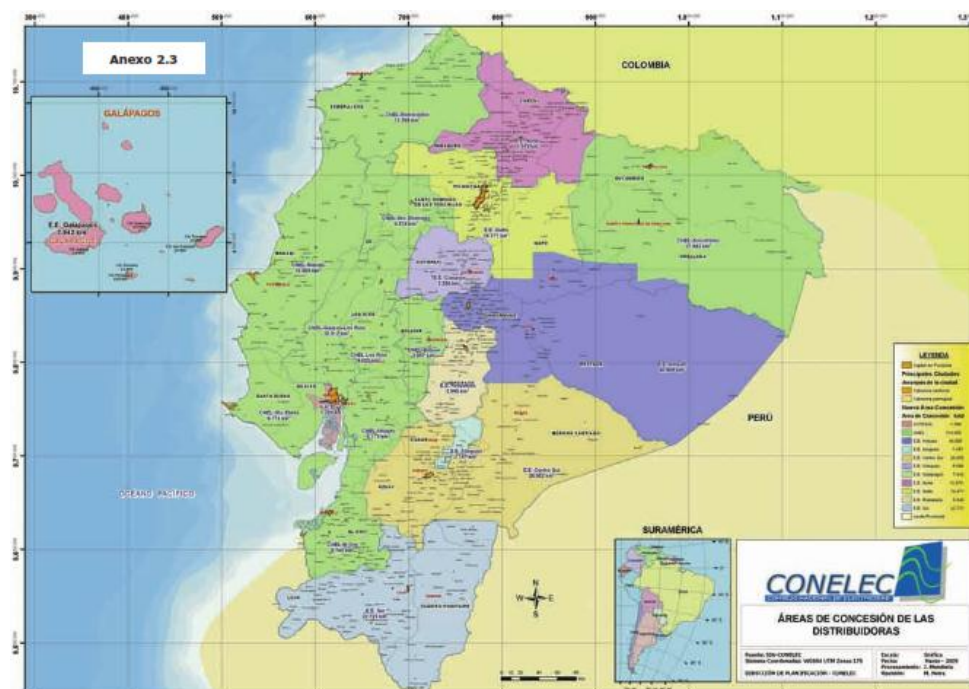
Al tener un aumento de población se incrementa el número potencial de consumidores de electricidad, además este crecimiento demográfico incide también en el aumento de fabricación de productos en general, para satisfacer esta creciente demanda se incrementa el consumo de energía eléctrica ya que la mayoría de estos productos utilizan la energía eléctrica.

## **1.4 Análisis de la demanda de la Empresa Eléctrica Quito S.A**

La Empresa Eléctrica Quito S.A. (EEQ S.A), es la encargada de satisfacer la demanda de energía eléctrica en su área de concesión otorgada por el CONELEC.

### **1.4.1 Área de concesión**

El área de concesión de la Empresa Eléctrica Quito S.A.; corresponde a los cantones de Quito, Rumiñahui, Mejía, Pedro Vicente Maldonado, San Miguel de los Bancos, parte de: Puerto Quito, Cayambe en la provincia de Pichincha, Quijos, y el Chaco en la provincia de Napo. Con las distribuidoras EMELSAD, EMELNORTE y ELEPCO, existen unas zonas de concesión, que están bajo análisis y que, eventualmente modificaría el área de concesión. [8]



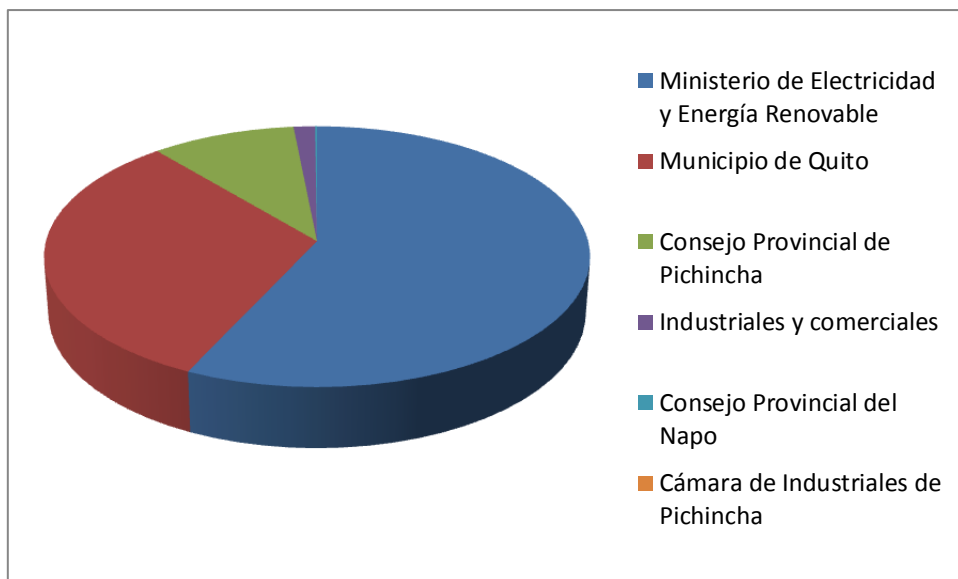
**Figura 1.7:** Áreas de concesión de las Distribuidoras  
**Fuente:** Plan de Expansión 2009-2020 del Sistema Eléctrico de EEQ

## 1.4.2 Accionistas

El crecimiento intensivo de la demanda eléctrica y de los clientes ha incidido para que la composición accionaria de la empresa se modifique, llegando el Estado a participar en su composición.

Composición Accionaria desde el 4 de diciembre de 2009	Capital actual	Acciones ordinarias	Acciones preferidas	%
Ministerio de Electricidad y Energía Renovable	841888970	841888970		56,98
Municipio de Quito	471000470	453721370	17279100	31,88
Consejo Provincial de Pichincha	141651790	141651790		9,59
Industriales y comerciales	20996180	20996180		1,42
Consejo Provincial del Napo	1920470	1920470		0,13
Cámara de Industriales de Pichincha	3960	3960		0,00027
Comité de Empresa de la EEQ	3140	3140		0,00021
Ec. Ramiro Gómez	450	450		0,00003
Total:	1477465430	146018630	17279100	100

**Tabla 1.1:** Composición accionaria de la EEQ S.A  
**Fuente:** Plan de Expansión 2011-2021 del Sistema Eléctrico de EEQ



**Figura 1.8:** *Composición accionaria de la EEQ S.A*  
**Fuente:** *Autoría Propia*

### 1.4.3 Características del sistema de distribución

Las redes de distribución presentan las siguientes características:

- Topologías mayormente radiales
- Múltiples conexiones (trifásicas, bifásicas, monofásicas)
- Cargas de distinta naturaleza

En un alto porcentaje los sistemas de distribución son netamente radiales, quiere decir que el flujo de potencia nace de un solo nodo, este nodo principal es la subestación que alimenta el resto de la red; en la subestación se reduce el nivel de voltaje de alta tensión (AT), a media tensión (MT).

La distribución se realiza en niveles de MT o baja tensión BT, los clientes residenciales y comerciales se alimentan en BT, los clientes industriales en cambio se alimentan en MT o BT, según sus requerimientos.

Las cargas de distinta naturaleza: residenciales, comerciales, industriales, alumbrado público y otros; cada uno se caracteriza por poseer un factor de potencia típico y un determinado comportamiento frente a variaciones de voltaje y temperatura.

### 1.4.4 Clasificación de los consumidores

La EEQ S.A tiene definido 5 clases de clientes que son:

- **Residenciales**

Persona natural o jurídica, pública o privada que utiliza el servicio eléctrico destinado exclusivamente al uso doméstico. Los clientes residenciales del área de concesión de la EEQ S.A están clasificados en cinco estratos estratos de consumo para efectos de determinación de la demanda máxima coincidente.

Categoría de estrato de consumo	Escalas de consumo KWh/mes/cliente
E	0-100
D	101-150
C	151-250
B	251-350
A	251-500

**Tabla 1.2:** Estratos de consumo EEQ S.A  
**Fuente:** Normas para sistemas de distribución de la EEQ S.A.

- **Comerciales**

Persona natural o jurídica, pública o privada que utiliza el servicio eléctrico para fines de negocio o cualquier actividad con fines de lucro.

- **Industriales**

Persona natural o jurídica, pública o privada que utiliza el servicio eléctrico para la elaboración o transformación de productos por medio de cualquier proceso industrial.

- **Alumbrado público**

En este tipo de consumidor aplican los consumos destinados al alumbrado público de calles, avenidas y en general vías de circulación publica, sistemas ornamentales de fuentes públicas y semaforización.

- **Otros**

Se aplica a los consumos destinados a entidades de servicio público, entidades de asistencia social, entidades oficiales, etc.[6]

### 1.4.5 Balance de energía y potencia

El mercado eléctrico de consumidores y los consumos de energía facturados, sigue un nivel de crecimiento intensivo, con tasas de promedio anual de 5,27% para los consumidores y el 5,12% para el consumo facturado.

La mayor participación en el mercado eléctrico sigue siendo la residencial, luego los comerciales, los industriales y otros.

ABONADOS											
Año	Residencial		Comercial		Industrial		Regulados		Otros		Total
	#	%	#	%	#	%	#	%	#	%	#
2001	463611	86,1	60806	11,3	9049	1,7			4687	0,9	598153
2002	479310	85,7	64523	11,5	10030	1,8			5543	1	559406
2003	496706	85,4	68181	11,7	10567	1,8			5940	1	581394
2004	519046	85,3	72364	11,9	10996	1,8	7	0	6354	1	608760
2005	545569	85,1	77229	12	11498	1,8	14	0	6854	1,1	641150
2006	575286	85	82194	12,1	12015	1,8	13	0	7261	1,1	676769
2007	602708	85	86619	12,2	12406	1,7	0	0	7717	1,1	709451
2008	636000	84,7	93488	12,5	12713	1,7	0	0	8372	1,1	750574
2009	672123	84,8	98604	12,4	13009	1,6	0	0	8908	1,1	792643
2010	724447	84,8	106617	12,5	12665	1,6	0	0	9500	1,1	854230

tasa %

5,27

Composición de consumidores y consumos facturados

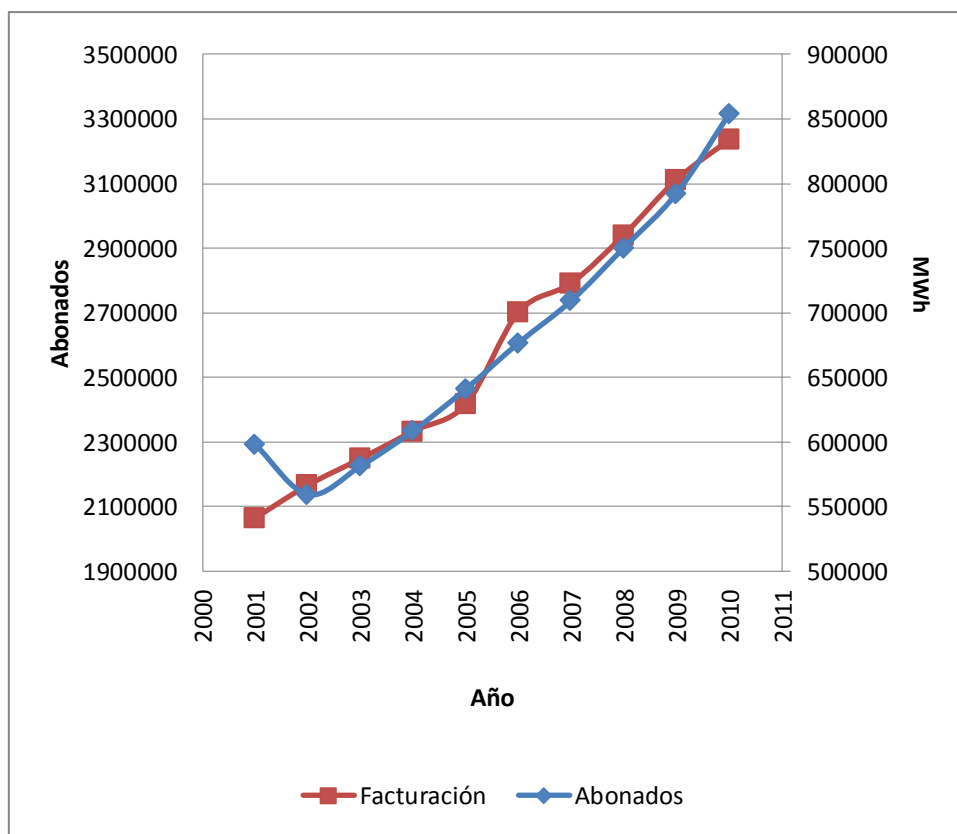
FACTURACIÓN													
Año	Residencial		Comercial		Industrial		AP		Regulados		Otros		Total
	MWh	%	MWh	%	MWh	%	MWh	%	#	%	MWh	%	MWh
2001	780084	37,8	374880	18,2	619424	30	161185	7,8			192782	6,3	2065355
2002	830180	38,8	408044	18,8	633830	29,3	170139	7,9			124490	5,7	2166683
2003	886862	39,4	453224	20,2	612355	27,2	162467	7,2			133656	5,9	2248564
2004	950518	40,7	492957	21,2	588026	25,2	154000	6,6	28496	1,2	148525	6,4	2334026
2005	1031804	42,7	539984	22,3	540764	22,4	154000	6,4	123273	5,1	151306	6,3	2417858
2006	1092608	40,4	581620	21,5	552993	20,5	160160	5,9	163617	6,1	151550	5,6	2702548
2007	1146439	41,1	610145	21,9	633870	22,7	160028	5,7	85538	3,1	156080	5,6	2792098
2008	1186909	40,3	644803	21,9	775322	26,4	167987	5,7		0	166688	5,7	2941709
2009	1241193	39,9	672042	21,6	853276	27,4	171389	5,5		0	174952	5,6	3112852
2010	1285757	39,7	719359	22,2	893450	27,6	171828	5,3		0	165857	5,1	3236251

tasa %

5,12

**Tabla 1.3** Consumidores y consumo facturado EEQ S.A

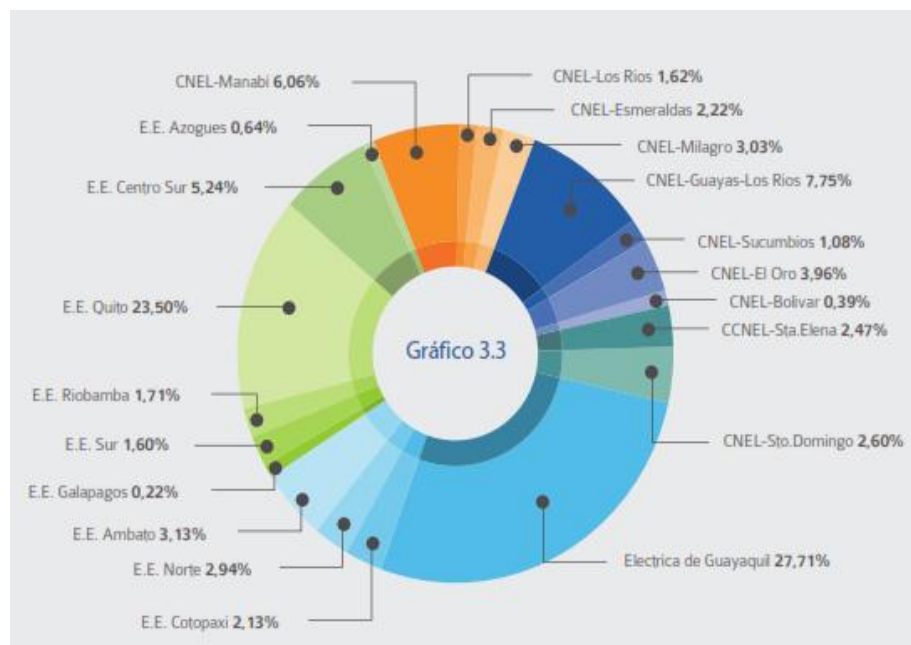
**Fuente:** Plan de Expansión 2011-2021 del Sistema Eléctrico de EEQ / Dpto. P.T.



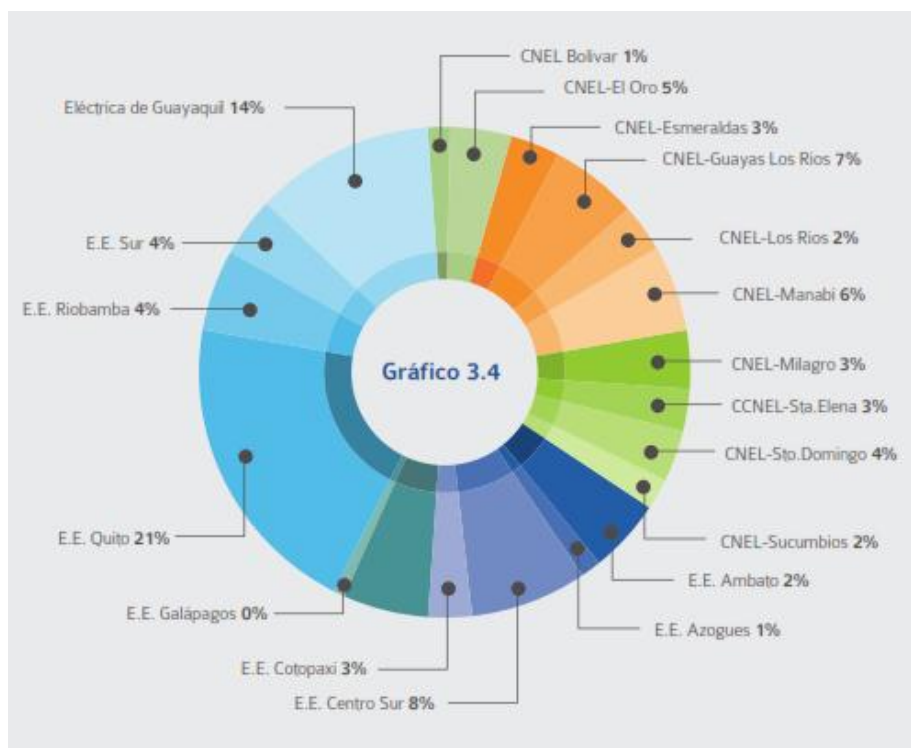
**Figura 1.9:** Abonados-Facturación EEQ S.A  
**Fuente:** Autoría propia

#### 1.4.6 Consumo de energía eléctrica en el Ecuador

La distribución de consumo por áreas de concesión, mostrada en la figura 1.10, ratifica la concentración que se produce en los dos polos de desarrollo nacional, la información de consumo de energía eléctrica por áreas de concesión de las empresas de distribución de energía eléctrica a nivel nacional y sectorial, se da con el propósito de conocer donde se deben aplicar las medidas de eficiencia energética, el conocer los usos finales de energía eléctrica en cada una de las regiones y sectores, permitirá establecer medidas o programas de eficiencia energética definiendo prioridades en la correspondiente aplicación. En la figura 1.11 se ratifica lo anteriormente descrito ya que la EEQ S.A presenta el mayor porcentaje de abonados a nivel nacional.



**Figura 1.10:** Consumo nacional por áreas de concesión GWh  
Fuente: CONELEC



**Figura 1.11:** Distribución porcentual de abonados regulados por área de concesión  
Fuente: CONELEC

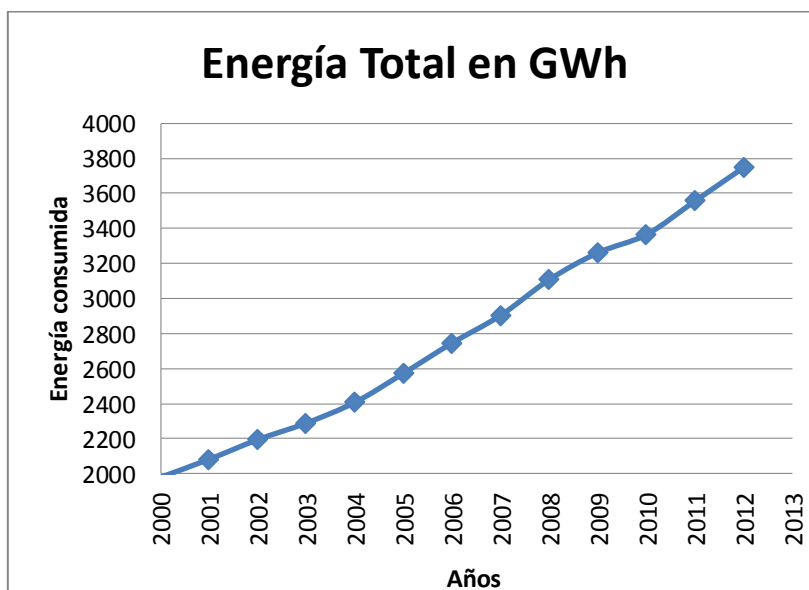
#### 1.4.7 Pérdidas de Energía de la Empresa Eléctrica Quito S.A.

Establece la energía disponible del sistema que no puede ser colocada en el mercado y en consecuencia facturada, sea por causas técnicas o no técnicas.

Año	Disponible	Consumida	Pérdidas	Pérdidas %
2000	2369	1979	389	16,44
2001	2479	2082	397	16,01
2002	2583	2194	389	15,04
2003	2702	2289	413	15,3
2004	2841	2407	434	15,27
2005	2966	2573	393	13,24
2006	3090	2746	344	11,12
2007	3224	2904	320	9,93
2008	3420	3108	312	9,13
2009	3514	3261	253	7,21
2010	3654	3365	289	7,91
2011	3814	3557	258	6,75
2012	4004	3748	256	6,4

**Tabla 1.4:** Balance de energía EEQ S.A

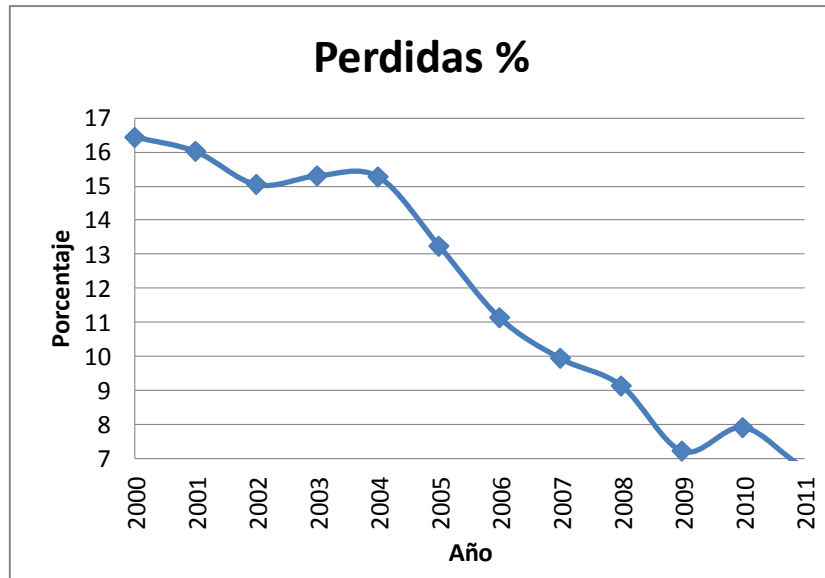
**Fuente:** Índices de Gestión 2000-2012



**Figura 1.12:** Balance de energía EEQ S.A

**Fuente:** Autoría Propia





**Figura 1.13:** *Perdidas de energía EEQ S.A*  
**Fuente:** *Autoría Propia*

#### **1.4.8 Sistema eléctrico de la Empresa Eléctrica Quito S.A**

El sistema eléctrico de la EEQ S.A, se compone de:

##### **1.4.8.1 Centrales de generación**

Consta de las centrales de generación hidráulica, térmica y las subestaciones de recepción de la energía que proviene del Sistema Nacional Interconectado (SNI):

- Central hidroeléctrica Cumbaya de 40 MW
- Central hidroeléctrica Nayón de 30 MW
- Central hidroeléctrica Guangopolo 20,92 MW
- Central hidroeléctrica Pasochoa de 5 MW
- Central hidroeléctrica Los Chillos de 1,8 MW
- Central Térmica Gualberto Hernández de 34,2 MW
- Central Térmica Luluncoto de 9 MW

### 1.4.8.2 Subestación de distribución

En esta subestación se transforma el nivel de voltaje de 138kV o 46kV a un nivel más reducido: 23kV, 13,8kV y 6,3kV, para ser transmitido dentro del área de concesión con líneas más livianas y adecuadas en zonas urbanas y rurales.

En la EEQ S.A las subestaciones de distribución de:

- De 46/23 kV son: Tumbaco, San Rafael, Santa Rosa, Eplicachima, Cristiania, Rio Coca, Machachi y Cotocollao,
- De 46/6,3kV son: Olímpico, Luluncoto, Barrio Nuevo, Chimbacalle, Escuela Sucre, San Roque, La Marín, Miraflores, San Pablo, Belisario Quevedo, La Floresta, Granda Centeno, El Bosque, Rio Coca, Andalucía, Carolina,
- De 46/13,8kV es la de los Bancos.

La subestación de 138/13,8kV es la Gualberto Hernández.

### 1.4.8.3 Subestaciones de la Empresa Eléctrica Quito S.A.

Ítem	Nombre de la subestación	Voltaje en kV		Localización Geográfica		Potencia
		1	2	Ubicación	Cantón	Aceite y Aire MVA
1	S/E OLIMPICO	46	6,3	EL BATAN	QUITO	20
2	S/E LULUNCOTO	46	6,3	CHIMBACALLE	QUITO	12,5
3	S/E BARRIO NUEVO T1	46	6,3	PIO XII	QUITO	15
4	S/E BARRIO NUEVO T2	46	6,3	SOLANDA	QUITO	15
5	S/E CHIMBACALLE	46	6,3	CHIMBACALLE	QUITO	12
6	S/E ESCUELA SUCRE	46	6,3	SAN BLAS	QUITO	5
7	S/E SAN ROQUE	46	6,3	SAN ROQUE	QUITO	15
8	S/E LA MARIN	46	6,3	SAN BLAS	QUITO	8
9	S/E MIRAFLORES	46	6,3	MIRAFLORES	QUITO	8
10	S/E N° 10 VIEJA	46	6,3	SAN BLAS	QUITO	8
11	S/E BELISARIO QUEVEDO	46	6,3	SANTA PRISCA	QUITO	15
12	S/E LA FLORESTA	46	6,3	LA FLORESTA	QUITO	8
13	S/E GRANDA CENTENO	46	6,3	GRANDA CENTENO	QUITO	15
14	S/E EL BOSQUE	46	6,3	EL BOSQUE	QUITO	15
15	S/E RIO COCA	46	6,3	EL BATAN	QUITO	30

16	S/E ANDALUCIA	46	6,3	LA CONCEPCION	QUITO	15
17	S/E CRISTIANIA	138	23	EL INCA	QUITO	40
18	S/E COTOCOLLAO	46	23	COTOCOLLAO	QUITO	95
19	S/E EPLICACHIMA	46	23	ELOY ALFARO	QUITO	30
20	S/E CAROLINA	46	6,3	EL BATAN	QUITO	15
21	S/E SAN RAFAEL	46	23	AMAGUÑA	RUMIÑAHUI	20
22	S/E IÑAQUITO	46	6,3	EL BATAN	QUITO	15
23	S/E 10 NUEVA	46	6,3	SAN BLAS	QUITO	15
24	S/E MACHACHI	46	23	PINTAG	RUMIÑAHUI	15
25	S/E TUMBACO T1	46	23	TUMBACO	QUITO	15
26	S/E TUMBACO T2	46	23	TUMBACO	QUITO	20
27	S/E SANTA ROSA	46	23	LAS CUADRAS	QUITO	60
28	S/E LOS BANCOS	46	13,8	SAN MIGUEL	LOS BANCOS	8
29	S/E PEREZ GUERRERO	46	6,3	SANTA CLARA	QUITO	15
30	S/E SANGOLQUI	46	23	SANGOLQUI	RUMIÑAHUI	15
31	S/E POMASQUI	138	23	POMASQUI	QUITO	40
32	S/E EL QUINCHE	46	23	CHECA	QUITO	15
33	S/E EUGENIO ESPEJO	138	23	CHILLOGALLO	QUITO	40
34	S/E VICENTINA	138	46	VICENTINA	QUITO	8
35	S/E SELVA ALEGRE	138	46	LA PRIMAVERA	QUITO	120
36	S/E SEC. C. T. G. HERNANDEZ	138	13,8	CHIMBACALLE	QUITO	18,3
37	S/E CENTRAL LULUNCOTO	46	6,3	CONOCOTO	QUITO	9

**Tabla 1.5:** Subestaciones de la EEQ S.A

**Fuente:** Empresa Eléctrica Quito S.A

#### 1.4.8.4 Líneas de transmisión y subtransmisión

Las líneas de transmisión son aquellas que llevan la energía a un voltaje mayor a 69 kV y las de subtransmisión las de 46 a 69 kV en el caso de la EEQ S.A

#### Redes de distribución

Se tienen de los siguientes tipos:

- Redes subterráneas.- este tipo de redes se encuentran ubicadas en sitios especiales debido a aspectos urbanísticos o densidad de carga, por ejemplo en el centro histórico de Quito.
- Redes aéreas.- estas se encuentran en todo el Distrito Metropolitano de Quito sectores urbanos y rurales, se encuentran ubicadas en estructuras con soporte y conductores de cable desnudo.[7]

### 1.4.8.5 Pronostico de demanda

### 1.4.8.6 Pronóstico de la demanda de subestaciones

Según el, Plan de expansión 2011-2021 del Sistema Eléctrico publicado por la EEQ S.A, el pronóstico de la demanda: “se basa en un análisis estadístico de los datos históricos disponibles del periodo 1983-2010, de energía y potencia suministrada en el sistema eléctrico, así como de la facturada por sus clientes, de las pérdidas y de los datos de carga de sus primarios, subestaciones y líneas de subtransmisión, el análisis de la estructura y evolución de su mercado eléctrico, por tipo de consumidor, datos con los cuales se realiza los pronósticos de carga correspondientes para el corto, mediano y largo plazos, utilizando las opciones de análisis estadístico y de pronostico disponible en Excel, lo que permite determinar la evolución histórica de la demanda y establecer su proyección, tanto por subestación, como por grupos de subestaciones que caracterizan un sector geográfico de servicio”<sup>1</sup>. Las cargas por primario y subestaciones del 2010 utilizadas para los pronósticos indicados se indican en la tabla siguiente.

	CORRIENTE DE ALIMENTADORES PRIMARIOS (A) A DEM. MX. S/E - DIC. 2010												TOT AL	Dem. S/E
SUBESTACION	A	B	C	D	E	F	G	H	TRO LE	EXPR ESO	TERCIA RIO	AUTOGENER ADOR	(A)	(MV A)
01 Olímpico	315,8	238,1	303,36	287	316,8								1.461,10	14,81
02 Luluncoto 23 kV													0	
02 Luluncoto		165,8											165,8	1,83
02 Luluncoto			195,84	242,6									438,4	5,32
03 Barrionuevo 6.3 kV	333,1	252,5	270,86	329,3	278,1								1.463,80	15,19
03 Barrionuevo 23 kV									1,95		195,83		197,8	7,83
04 Chimbacalle	241	253,4	239,04	363,8	267,8				48,21				1.413,30	14,65
06 Esc. Sucre	84,48	43,2	132							80,16			422,4	4,01
07 San Roque	209,3	189,1	308,16	115,2	421,4								1.243,20	13,52
08 La Marín	64,32	126,7	60	133,9					18,72	0,026			651,4	7,06
09 Miraflores	28,8		179,84	62,08	189,4								460,2	4,98
10 Diez Vieja	54,24	151,7	270,72	116,6									593,3	6,31
11 Belisario Quevedo	133,4	271,7	242,88	173,8									821,8	8,73
12 La Floresta	352,6	416		57,6									826,2	9,21

<sup>1</sup> EEQ/ Dpto. P.T, Plan de expansion 2011-2021 del Sistema Eléctrico, Quito, 2011

13 Granda Centeno	317,8	219,8	271,68	80,64	200,6								1.090,60	11,64
15 El Bosque	363,8	197,8	431,04	284,2	214,1							0	1.490,90	15,72
16 Río Coca T1					353,3	368,64	246,72	360	5,15				1.333,80	13,3
16 Río Coca T2	229,4	344,6	320,64	324,5									1.219,20	13,27
17 Andalucía	236,2	200,6	334,08	171,8	300,5		186,24						1.429,40	15,39
18 Cristiania T1	236,6		257,76		139,2	217,44							851	31,95
18 Cristiania T2		236,6		193,4			235,68						665,8	25,49
19 Cotocollao T1	161,3	148,8	65,76		158,4		194,88						729,1	28,01
19 Cotocollao T2 138/23 kV				133,4		144,96							278,4	12,2
21 Epiclachima T1	215,5			170,9		153,6							540	19,73
21 Epiclachima T2		203	172,32		206,9								582,2	22,38
23 Conocoto T1		206,2	140,27										346,5	17,25
24 Carolina	269,8	446,4	238,08	336	316,8	170,88			24,05				1.802,00	18,72
27 San Rafael	188,2	77,76	109,92	76,8		114,72							567,4	24,32
27 San Rafael C													0	
28 Ñaquito	437,8	336	428,16	382,1									1.584,00	7,08
32 Diez Nueva	192	318,7	277,44		340,8								1.129,00	12,11
34 Machachi	154,8	141,8	137,94	40,24									474,70	17,03
36 Tumbaco T1 33 MVA	257,8		132,96		192,5							4,496	583,2	29,5
36 Tumbaco T2 20 MVA @		118,1		174,7		269,28							562,1	21,82
37 Santa Rosa	131	62,06	111,19	128,4								55,21	487,9	19,63
49 Los Bancos	66,56	26,88	105,28	28,8									227,5	5,6
53 Pérez Guerrero		268	275,75	324	249,9	349,7			24				1.491,50	16,42
55 Sangolquí	179	73,44	81,6	146,7	3,2								484	19,9
57 Pomasqui T1	250			178,7	66,84	153,42							6490	25,67
57 Pomasqui T2		213,1	183,84				143,52						540,5	21,1

**Tabla 1.6:** Cargas de primarios de demanda máxima de las subestaciones –diciembre 2010  
**Fuente:** Plan de Expansión 2011-2021 del Sistema Eléctrico de EEQ / Dpto. P.T.

Además de la tabla 1.6 se desprende, que existen primarios y subestaciones que están en su límite de carga y otros que están descargados, los cuales indican valores que sirven de base para hacer diagnóstico por subestación de distribución y que también han servido de

base para realizar el pronóstico anual de la demanda correspondiente cuyos resultados se indican a continuación.

La EEQ S.A para garantizar el servicio eléctrico y el crecimiento de la demanda eléctrica a sus clientes, a diciembre 2010 dispone de 32 subestaciones de distribución y 41 transformadores en servicio, de los cuales: 8 transformadores son de 138/22.8 KV, 10 transformadores de 46/22.8 KV, 1 transformador de 46/22/13.2 KV, 1 transformador de 46/22/6.3 KV, 1 de 46/13.2 KV y 21 transformadores de 46/6.3 KV, con una capacidad instalada total de: 606.25 MVA en “OA”, 801.85 MVA en “FA” y 887.5 MVA en “FOA”.

Estas subestaciones están alimentadas por 221.5 Km de líneas a 46 KV y 72.2 Km a 138 KV de subtransmisión; y, para distribuir la energía en las diferentes zonas de servicio, dispone de 171 circuitos de distribución primaria a 22.8 KV, 6.3 KV y 13.2 KV, de los cuales 10 circuitos son expresos del sistema de transporte TROLEBUS, la longitud de las redes de MV alcanza los 7113.3 kilómetros; se ha instalado 32323 transformadores y 2041.4 MVA en redes de distribución; así como 6429.4 kilómetros de redes secundarias; 418078 acometidas y 849325 medidores, entre monofásicos, bifásicos y trifásicos, de los cuales, 4536 están instalados en media tensión y 6 en alta tensión; todo orientado a disponer de un sistema eléctrico de alta confiabilidad, seguridad y eficiencia, que garantice calidad del servicio a sus clientes, sin restricciones.

En tal sentido, para definir la expansión anual del sistema eléctrico, se considera:

- Que cumpla con los objetivos impuestos.
- Que sea la solución más económica y encuadrada dentro de la configuración del sistema al año horizonte.
- Que garantice en cada año de evolución del sistema a 10 años, una reserva mínima adecuada de la capacidad de las instalaciones de líneas y transformadores de subestaciones sin perjudicar la calidad del servicio y que permita mantener el servicio bajo condiciones de contingencias simples de falla de una línea o de un trafo de 138/46 KV.
- Que permita, dadas las condiciones financieras de la EEQ, el máximo diferimiento posible de las obras, siempre que no comprometan las condiciones de seguridad y confiabilidad del servicio eléctrico. Que se adapte en mejor forma al sistema existente y que para su evolución no se requieran cambios sustanciales. Que el plan

tienda a minimizar las pérdidas técnicas y que entren en operación en el momento oportuno, evitando sobre dimensionamientos, que no originen réditos a corto plazo, etc. Que las subestaciones de distribución con dos trafos de 15/20 MVA o 20/27/33 MVA, en 46/6.3 KV, 46/23 KV o 138/23 KV, respectivamente, dispongan al menos de doble alimentación, para asegurar la confiabilidad de su servicio, ante falla simple de una de ellas.[8]

#### 1.4.8.7 Pronóstico de la demanda eléctrica del sistema

La Empresa Eléctrica Quito S.A., de su análisis estadístico de las series históricas de la energía suministrada y potencia demandada muestra resultados en tres escenarios: optimista probable y pesimista; esto se debe a que la demanda eléctrica puede variar entre valores mínimos y máximos, lo que en el mercado local depende del crecimiento o recesión industrial y comercial, así como, del poder adquisitivo del sector residencial.

PL.DPT.710.FRO.13 (PRO.02).- pronóstico de la demanda del SEQ.											Aproba do
EEQ - PL_DPTO. PLANIFICACIÓN TÉCNICA.						Realizado: MCP    Fecha: 22 de febrero					

MVA

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Optimista	664.2	694.0	725.3	757.9	792.0	827.6	864.9	903.8	944.4	986.9	1031.3	1077.7
Probable	664.2	692.8	722.7	753.9	786.4	820.3	855.7	892.6	931.1	971.3	1013.2	1056.9
Pesimista	664.2	691.7	720.3	750.2	781.2	813.6	847.3	882.4	919.0	957.0	996.7	1038.0

MW

Optimista	647.0	675.6	705.5	736.7	769.2	803.2	838.7	875.8	914.5	954.9	997.1	1041.1
Probable	647.0	674.5	703.1	732.9	764.0	796.4	830.2	865.4	902.1	940.3	980.2	1021.8
Pesimista	647.0	673.4	700.9	729.4	759.2	790.1	822.3	855.9	890.8	927.1	964.9	1004.2

MVAR

Optimista	149.9	158.8	168.2	178.1	188.6	199.5	211.1	223.2	236.0	249.4	263.5	278.4
Probable	149.9	158.3	167.2	176.6	186.4	196.7	207.5	218.8	230.7	243.2	256.3	270.1
Pesimista	149.9	157.9	166.3	175.1	184.4	194.1	204.2	214.8	226.0	237.6	249.8	262.6

COS

Ø

Optimista	0.974	0.973	0.973	0.972	0.971	0.970	0.970	0.969	0.968	0.968	0.967	0.966
Probable	0.974	0.974	0.973	0.972	0.972	0.971	0.970	0.969	0.969	0.968	0.967	0.967
Pesimista	0.974	0.974	0.973	0.972	0.972	0.971	0.971	0.970	0.969	0.969	0.968	0.967

SUMINISTRO  
MWH

Optimista	3,525,276	3,691,128	3,864,784	4,046,610	4,236,990	4,436,326	4,645,041	4,863,576	5,092,391	5,331,972	5,582,824	5,845,478
Probable	3,525,276	3,684,443	3,850,798	4,024,663	4,206,378	4,396,298	4,594,793	4,802,250	5,019,074	5,245,687	5,482,533	5,730,071
Pesimista	3,525,276	3,678,276	3,837,918	4,004,487	4,178,286	4,359,629	4,548,841	4,746,266	4,952,259	5,167,192	5,391,454	5,625,449

FACTOR DE CARGA

Optimista	0.622	0.624	0.625	0.627	0.629	0.631	0.632	0.634	0.636	0.637	0.639	0.641
Probable	0.622	0.624	0.625	0.627	0.629	0.630	0.632	0.633	0.635	0.637	0.639	0.640
Pesimista	0.622	0.624	0.625	0.627	0.628	0.630	0.631	0.633	0.635	0.636	0.638	0.639

FACTURACION  
MWH

Optimista	3,236,251	3,389,326	3,549,641	3,717,539	3,893,379	4,077,535	4,270,403	4,472,393	4,683,937	4,905,487	5,137,517	5,380,521
Probable	3,236,251	3,383,501	3,537,450	3,698,404	3,866,681	4,042,615	4,226,554	4,418,862	4,619,921	4,830,127	5,049,898	5,279,668
Pesimista	3,236,251	3,378,646	3,527,307	3,682,508	3,844,538	4,013,698	4,190,301	4,374,674	4,567,160	4,768,115	4,977,912	5,196,940

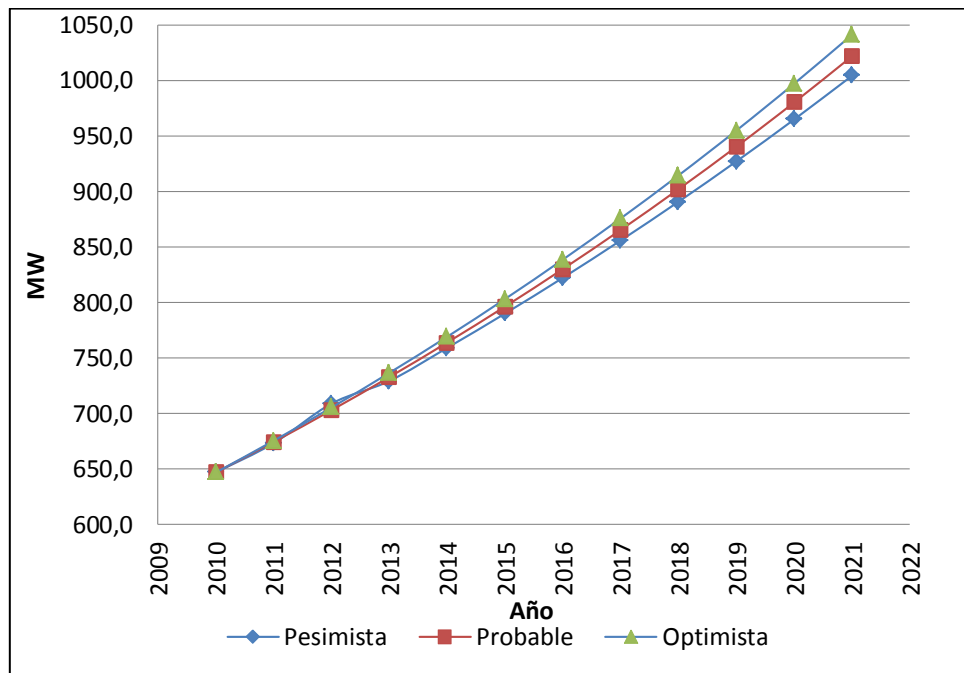
PERDIDAS (%) CON  
PEAJES

Optimista	7.98	7.96	7.94	7.92	7.90	7.88	7.86	7.84	7.81	7.79	7.77	7.75
Probable	7.98	7.95	7.92	7.89	7.86	7.84	7.81	7.78	7.75	7.72	7.69	7.66
Pesimista	7.98	7.93	7.88	7.83	7.78	7.73	7.68	7.63	7.58	7.52	7.47	7.42

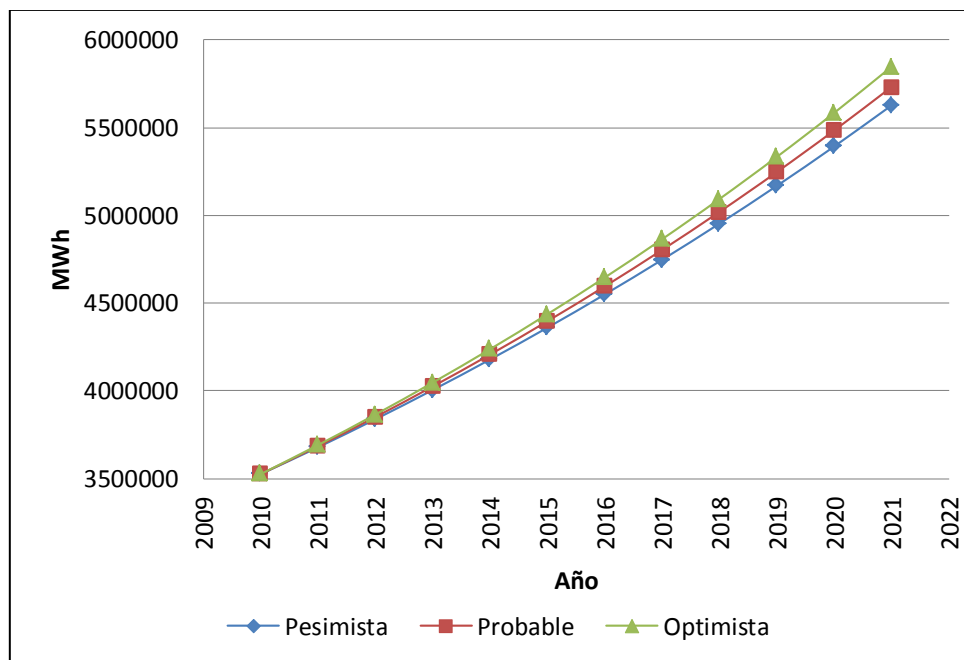
**Tabla 1.7:** Predicción de la Demanda EEQ S.A  
Fuente: Plan de Expansión 2011-2021 del Sistema Eléctrico de EEQ / Dpto. P.T.



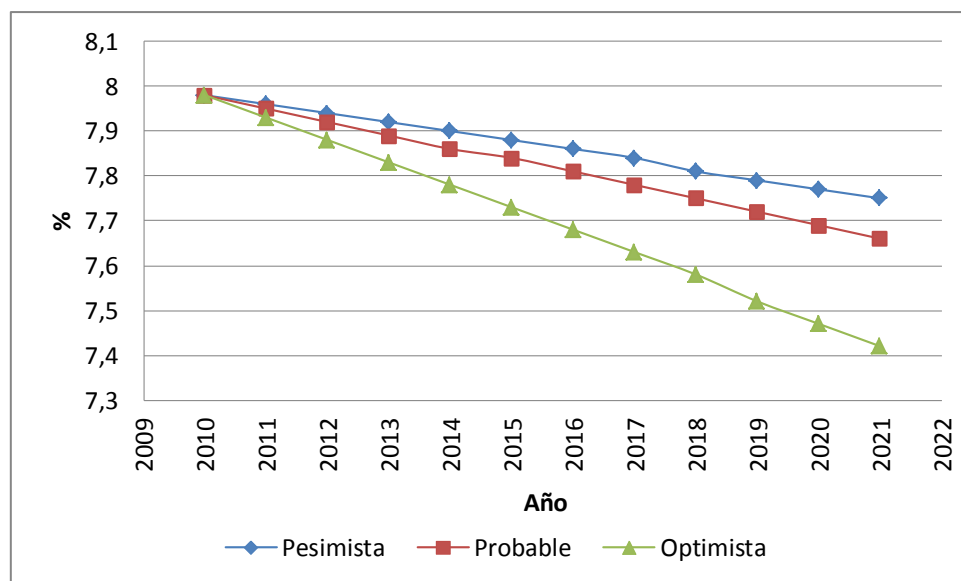
#### 1.4.8.8 Curvas de potencia, energía y pérdidas futuras de la EEQ S.A.



**Figura 1.14:** Pronóstico de potencia EEQ S.A  
Fuente: Autoría Propia



**Figura 1.15:** Pronóstico de energía EEQ S.A  
Fuente: Autoría Propia



**Figura 1.16:** *Pronóstico de Pérdidas EEQ S.A*

**Fuente:** *Autoría Propia*

## **CAPÍTULO II**

### **MODELOS MATEMÁTICOS APLICADOS A LA ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA ELÉCTRICA**

En el presente capítulo se definen conceptos básicos de modelos matemáticos aplicados para la estimación de la demanda, además se pretende dar una idea formal de las herramientas con las cuales se cuenta para la estimación de las variables.

Para la aplicación y uso de estos modelos matemáticos se precisa realizar una clasificación adecuada para una mejor comprensión.

Finalmente en base al análisis anteriormente realizado se elegirá el modelo que más se adecue al tema de investigación.

#### **2.1 Conceptos básicos de modelos de estimación**

Un modelo matemático es una descripción matemática (con frecuencia mediante una función o ecuación) y simplificada relacionada con una parte de la realidad, creada para un propósito particular.

Mediante modelos matemáticos se puede realizar estimaciones de diversa índole, como:

- La demanda de un producto
- El tamaño de una población
- La rapidez de caída de un objeto
- La expectativa de vida de una persona cuando nace
- Etc.

##### **2.1.1 Propósito de un modelo matemático**

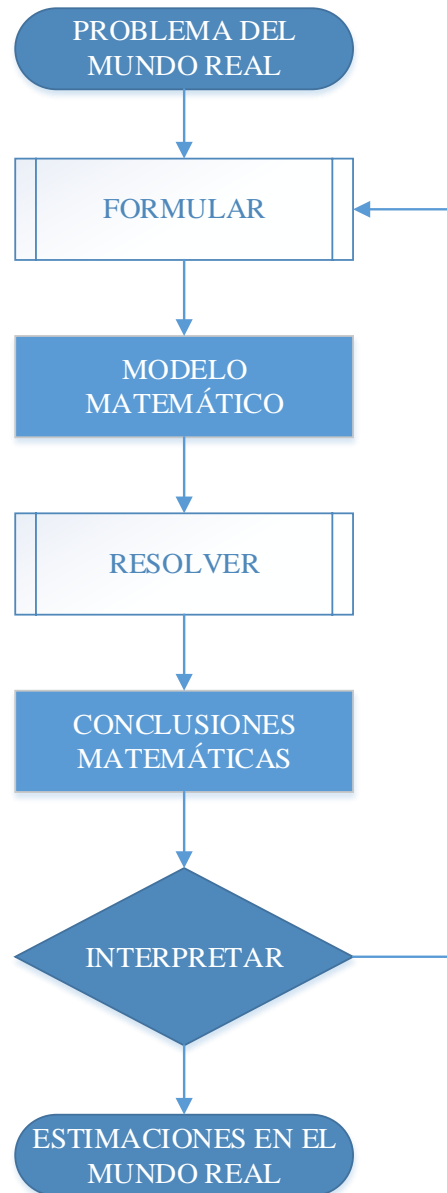
El propósito de un modelo es describir, explicar, y comprender el fenómeno y quizá realizar estimaciones con respecto al comportamiento futuro.

Un modelo matemático jamás será una representación totalmente precisa de una situación del mundo real, simplemente es una idealización de la realidad futura.

Un modelo apropiado simplifica la realidad lo suficiente para permitir cálculos matemáticos y proveer conclusiones importantes en el tema de investigación al cual se esté aplicando.

### 2.1.2 Proceso básico de un modelamiento matemático

Un modelo matemático sigue un procedimiento sistemático, a continuación se presenta un ejemplo:



**Figura 2.1:** Proceso básico de un modelamiento matemático

**Fuente:** Autoría Propia

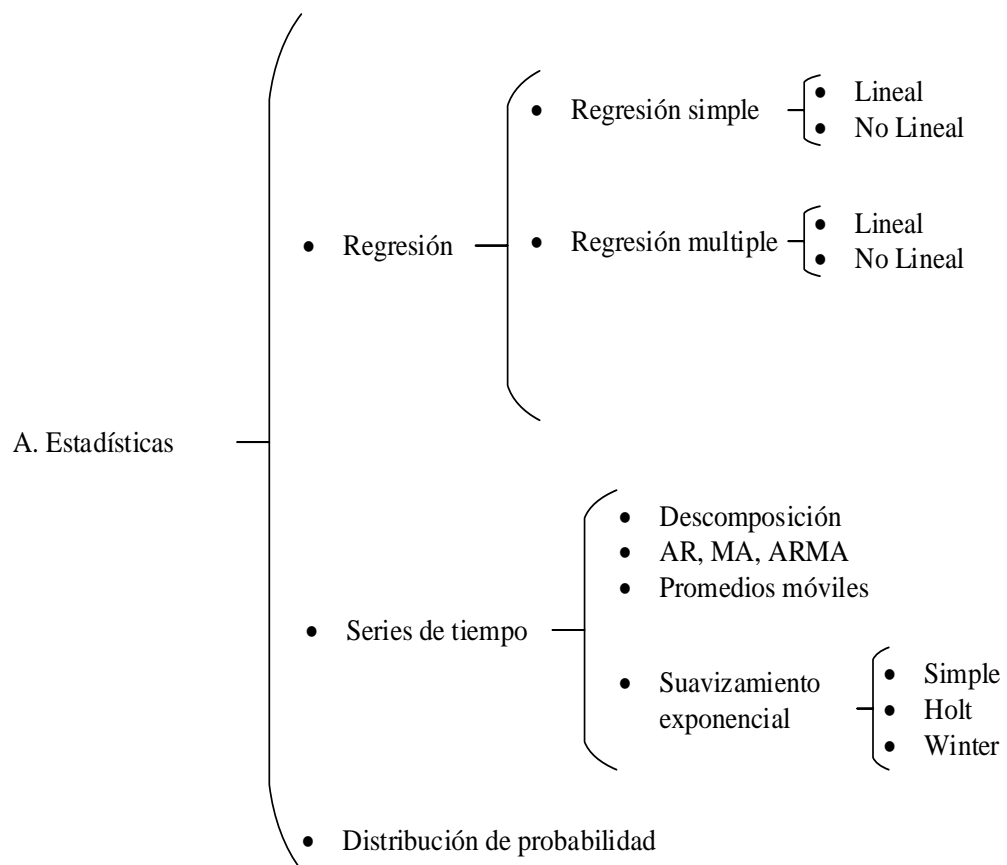
### 2.2 Métodos y modelos de estimación usados en la actualidad

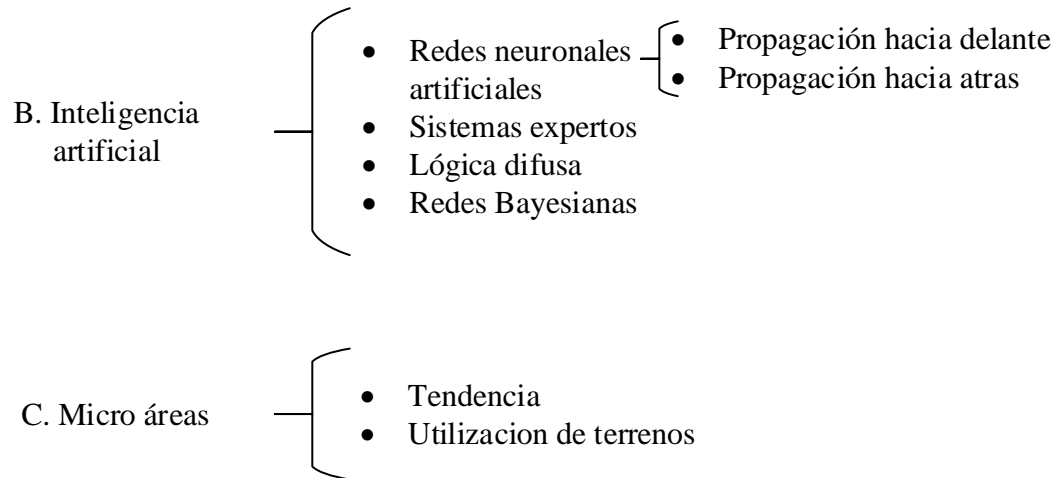
En la figura 2.2 se muestra algunos métodos y modelos de estimación usados en la actualidad. [10], [12]

Horizonte de Tiempo {  
• Corto plazo  
• Mediano plazo  
• Largo plazo

Tipo de demanda eléctrica {  
• Energía (Wh)  
• Potencia (W)

Técnicas matemáticas {  
A. Estadísticas  
B. Inteligencia artificial  
C. Micro áreas





**Figura 2.2:** Modelos matemáticos de estimación  
**Fuente:** Autoría propia en Base a [10], [12]

Las estimaciones de demanda eléctrica futura se las puede realizar a partir de:

- Usuarios: residencial, comercial, industrial, alumbrado público y otros.
- Transformadores
- Circuitos primarios
- Subestaciones
- Zona
- Sistemas eléctricos de potencia

## 2.3 Aplicación de los principales modelos

Para realizar una estimación existen diferentes tipos de funciones que pueden usarse para modelar ocurrencias que se observan en el mundo real.

### 2.3.1 Modelos cualitativos

Los modelos cualitativos, son modelos subjetivos que se aplican cuando no se dispone de datos históricos o datos históricos no son confiables.

Este modelo se aplica en base a estimaciones y opiniones de expertos que mediante su experiencia y con procedimientos alternativos (no numéricos), realizan un análisis del tema que se esté tratando.

Los modelos cualitativos se los utiliza generalmente cuando se desea estimar una

variación que se puede presentar en un modelo, en el cual los datos históricos no están disponibles o no son suficientes para estimar este cambio. En este caso son los expertos, con un profundo conocimiento en el tema que se esté tratando, quienes interpretan los datos disponibles y pueden determinar los posibles factores que indiquen los cambios en dicho modelo. [18]

Dentro de los modelos cualitativos más usados se tiene:

#### **2.3.1.1 Método de Delphi**

Este método se basa en reunir un grupo de expertos que se someten a una serie de cuestionarios, la información se procesa estadísticamente y constituye una opinión grupal, de la que nace una predicción. Existe un proceso de retroalimentación controlada después de cada serie de preguntas.

Para no influir en las decisiones los cuestionarios se realizan de manera anónima, sin la necesidad de que todos los participantes estén presentes, sus respuestas se las puede enviar por cualquier medio de comunicación actual.

El proceso se repite hasta lograr un consenso en las opiniones de los expertos; el lapso entre los cuestionarios debe ser lo menor posible para evitar el intercambio de opiniones. [19], [20]

#### **2.3.1.2 Matrices de impacto cruzado**

Este método consiste en dos tipos de datos para un conjunto de posibles sucesos. El primer tipo de dato estima la probabilidad de que cada suceso pueda ocurrir dentro de un horizonte temporal. El segundo dato investiga la ocurrencia o no ocurrencia de cualquiera de los otros sucesos; este puede interferir en la probabilidad de ocurrencia de los de más sucesos previstos.

Se define como impacto cruzado entre dos sucesos cuando la probabilidad de que ocurra uno de ellos varía en función de que acontezca o no el otro suceso. El impacto cruzado es positivo cuando la probabilidad de ocurrencia aumenta; si la probabilidad de ocurrencia disminuye se dice que el impacto cruzado es negativo, no existe impacto cruzado si la probabilidad de ocurrencia no varía. [21]

### 2.3.2 Modelos de tendencia

Los modelos de tendencia pretenden estimar el futuro con datos históricos del pasado, a continuación se muestra los principales modelos de tendencia:

#### 2.3.2.1 Métodos de regresión simple

El método de regresión simple consta de una variable dependiente y una variable independiente, donde los resultados de la variable dependiente son producto de la variable independiente.

##### 2.3.2.1.1 Regresión lineal

El método más sencillo para relacionar una variable dependiente con una variable independiente, es una línea recta. El método de regresión lineal consiste en sumar las distancias al cuadrado entre los puntos reales y los puntos de la recta estimada. Mientras más pequeñas sean estas distancias, mejor será la estimación. La ecuación que describe este método se muestra a continuación:

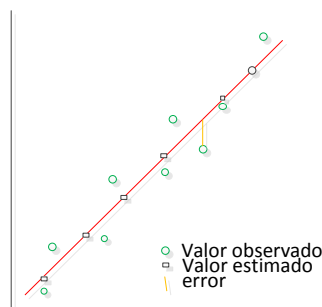
$$Y = b_0 + bX + \varepsilon \quad (2.1)$$

Dónde:

$b_0$  ; Intersección en el eje Y cuando  $X=0$

$b$  ; Pendiente de la recta

$\varepsilon$  ; Diferencia entre el valor real y el valor estimado



**Figura 2.3:** Regresión Lineal

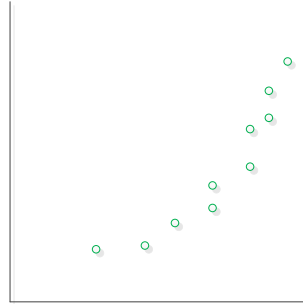
**Fuente:** Autoría propia



### 2.3.2.1.2 Regresión Exponencial

La regresión exponencial tiene la siguiente ecuación característica:

$$Y = a \cdot e^{bx} \quad (2.2)$$



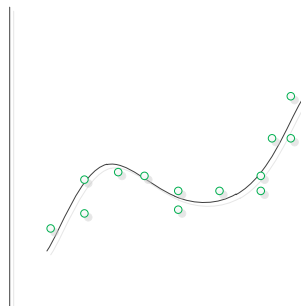
**Figura 2.4:** *Regresión Exponencial*

**Fuente:** *Autoría propia*

### 2.3.2.1.3 Regresión polinomial

La regresión polinomial describe la relación que existe, entre la variable dependiente y la variable independiente esta relación no es lineal es de grado n.

$$Y = b_0 + b_1X + b_2X^2 + \dots + b_n + X^n \quad (2.3)$$



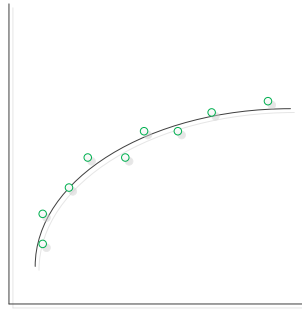
**Figura 2.5:** *Regresión Polinomial*

**Fuente:** *Autoría propia*

### 2.3.2.1.4 Regresión Logarítmica

La regresión logarítmica es de gran utilidad cuando el cambio de datos aumenta o disminuye rápidamente y después se estabiliza. La línea de tendencia puede tomar valores positivos o negativos. Algunas variables siguen un comportamiento logarítmico que se muestra a continuación:

$$Y = b + a \ln X \quad (2.4)$$



**Figura 2.6:** *Regresión Logarítmica*

**Fuente:** *Autoría propia*

### 2.3.2.2 Método de regresión múltiple

La regresión múltiple estudia la relación que puede existir entre la variable dependiente y dos o más variables independientes.

El modelo de regresión múltiple es representado por la siguiente ecuación:

$$y_t = A_0 + A_1 x_1 t + A_2 X_2 t + \dots + A_p X_p t + \epsilon_t \quad (2.5)$$

Dónde:

$y_t$ ; Variable dependiente en el período t.

P; Número de variables independientes utilizadas en el modelo.

$X_1 t, X_2 t, \dots, X_p t$ ; Valores de las p variables independientes en el período t.

$A_0, A_1, \dots, A_p$ , Parámetros que relacionan la variable dependiente  $Y_t$  a las p variables independientes.

$\epsilon_t$ ; Componente aleatoria del error que describe la influencia en  $Y_t$  de los factores ajenos a la p variables independientes.

### 2.3.3 Modelos de Series de Tiempo

Los modelos de series de tiempo analizan los datos históricos disponibles de las variables a estimar para decidir los modelos que representa el comportamiento histórico de la variable y extrapolar esta serie para determinar los valores futuros.

Una serie es un conjunto de observaciones ordenadas en el tiempo, las cuales pueden ser continuas o discretas, en este caso se tratará con series discretas con intervalos de medición que son horarios, diarios, semanales, mensuales o anuales.

El análisis de cualquier serie de tiempo está seguida por un estudio y tratamiento de los datos que van a ser utilizados en el proceso de pronóstico, para corregir o eliminar los posibles valores erróneos que afectaría el modelo.

Es aconsejable en los métodos de predicción por series de tiempo, realizar un gráfico de los valores observados en el comportamiento históricos del fenómeno, para obtener una visión global del mismo.

Los métodos más utilizados son suavizamiento, descomposición y modelos de Box Jenkins, que se describirán a continuación.

### **2.3.3.1 Método de Suavizamiento**

Se considera que existe en los valores de las variables a ser pronosticadas, el comportamiento fundamental o básico, por lo tanto la meta de estas técnicas consiste en distinguir y eliminar las fluctuaciones aleatorias del modelo básico de la serie mediante un suavizamiento de los datos históricos. Una vez hallado el patrón de comportamiento se realizará la estimación.

Las técnicas de suavizamiento son: medias móviles y suavizamiento exponencial.

#### **2.3.3.1.1 Medias Móviles**

Consiste en determinar a partir de un conjunto de valores observados, el promedio de los mismos y luego utilizar este promedio como un pronóstico para el siguiente pronóstico. El número de observaciones utilizadas para obtener el promedio es determinado por la persona que hace el pronóstico y permanecerá constante, por lo tanto cada observación nueva producirá la eliminación de la observación más antigua, realizando el cálculo de la media con cada nuevo dato. Razón por la que se le denomina modelo de “medias móviles”

La representación matemática es la siguiente:

$$Y_{t+1} = \frac{X_t + X_{t-1} + \dots + X_{t-N+2} + X_{t-N+1} + 1}{N} \quad (2.6)$$

$$Y_{t+1} = \frac{1}{N} \sum_{i=t-N+1}^t X_i \quad (2.7)$$

Dónde:

$Y_t$ ; Es el valor pronosticado al tiempo t

$X_t$ ; Es el valor actual al tiempo t.

N; es el número de datos que abarca el promedio

Como se aprecia en la ecuación (2.9) se da la misma importancia a todas las observaciones, una manera más simplificada de la ecuación anterior se obtiene de la siguiente forma:

$$Y_T = \frac{X_{t-1} + X_{t-2} + ..... + X_{t-n}}{N} \quad (2.8)$$

La ecuación (2.8) queda entonces.

$$Y_{t+1} = \frac{X_t}{N} - \frac{X_t - N}{N} + Y_t \quad (2.9)$$

Se puede ver que cada nueva estimación es un ajuste de la estimación anterior.

Cuando se observa una pequeña aleatoriedad en los datos se utiliza un N pequeño, en cambio cuando existe fluctuación en los valores se utiliza una mayor de N mayor, por lo cual se obtiene un mayor suavizamiento.

Este método no se adapta a datos con tendencias de crecimientos irregulares, estacionales o cíclicas; es útil en forma s de crecimiento regular.

#### **2.3.3.1.2 Suavizamiento Exponencial**

En el método de las medias móviles se almacena las “N” últimas observaciones así como se da igual importancia a las observaciones. Esto no ocurre con los métodos de suavizamiento exponencial en que se da importancia a los datos más recientes ya que los nuevos datos contienen mejor información de que sucederá en el futuro ya que se supone que la tendencia se mantiene.

El procedimiento matemático en el que se basa el suavizamiento exponencial es el

siguiente:

Se tiene disponible solamente el valor observado más reciente y además el valor pronosticado efectuado para ese mismo periodo, en cuyo caso la ecuación (2.11) puede ser modificada si se reemplaza el valor observado en el periodo (t- N+1) por un valor aproximado, el mismo que es el valor pronosticado en el periodo precedente, con esta modificación se tiene:

$$Y_{t+1} = \frac{X_t}{N} - \frac{Y_t}{N} + Y_t \quad (2.10)$$

Agrupando:

$$Y_{t+1} = \frac{1}{N} - X_t + \left(1 - \frac{1}{N}\right)Y_t \quad (2.11)$$

Se define  $\alpha$  como:

$$\alpha = \frac{1}{N} \quad (2.12)$$

Entonces la forma general de pronóstico por suavizamiento exponencial es:

$$Y_{t+1} = \alpha X_t + (1 - \alpha)Y_t \quad (2.13)$$

En esta ecuación no se necesita almacenar las N observaciones pasadas, la más reciente observación y el más reciente pronóstico. Además se seleccionará un valor apropiado de  $\alpha$ .

### 2.3.3.1.3 Método de Winter

El método de las medias móviles como el de suavizamiento exponencial tiene la desventaja de no ajustarse al cambio del patrón básico de la serie. Este inconveniente es superado por el método de Winter, este método se utiliza factores de ajuste tendencial y estacional.

El método de Winter tiene tres ecuaciones básicas.

$$Y_t = \frac{\alpha - X_t}{I_t - L} + (1 - \alpha)(Y_t - 1 + b_t + 1) \quad (2.14)$$

Dónde:

$$b_t = \gamma(Y_t - Y_{t-1}) + (1 - \gamma)b_{t-1} \quad (2.15)$$

$$I_t = \beta \frac{X_t}{Y_t} + (1 - \beta)I_{t-1} - L \quad (2.16)$$

Dónde:

L; es la longitud de la estacionalidad

I; es el factor de ajuste de la estacionalidad

b; es el ajuste de predicción

$\beta$  ; Factor de suavizamiento estacional

$\gamma$  ; Factor de suavizamiento de la tendencia

La estimación de acuerdo al método de Winter es calculada como:

$$F_{t+m} = (Y_t + b_{t+m})I_{t-L+m} \quad (2.17)$$

m; es el periodo para el cual se quiere hacer el pronóstico.

Uno de los principales problemas en este método es determinar los valores de  $\alpha, \beta$ , que minimicen el error medio cuadrático.

### 2.3.3.2 Método de descomposición

Este método trata de identificar cuatro componentes de los que está compuesta una serie de tiempo y son:

$$Y = T * C * E * I$$

Tendencial. (T) existe cuando hay un incremento o decremento general en el valor de la variable sobre el tiempo, es representada por un polinomio de bajo grado.

La tendencia de la demanda de energía tiene una forma decreciente debido al aumento del número de abonados y de la utilización de un número mayor de aparatos eléctricos a lo largo del tiempo.

Cíclico. (C) generalmente una trayectoria de onda pasando de valores altos a valores bajos cada cierto periodo de tiempo.

La componente cíclica es la más difícil de predecir debido a que no se repite en un periodo constante de tiempo, por ejemplo el comportamiento del ciclo económico que influye en el crecimiento de la demanda.

Estacional. (E) las fluctuaciones sobre un periodo determinado de tiempo de acuerdo a una constante estacional. La estacionalidad puede estar dada por los días de la semana o por los meses del año

Componente irregular. (I) siempre está presente debido a las fluctuaciones erráticas. Cada componente debe ser modelado en forma separada para obtener el pronóstico total de los valores futuros.

La serie puede estar representada por la ecuación

$$Y = T * C * E * I \quad (2.18)$$

Los cuatro componentes son los factores multiplicativos del total. La relación también puede ser aditiva. En caso de ser un modelo multiplicativo los componentes están de la siguiente manera:

Componente estacional.- Puede ser obtenido utilizando medias móviles para determinar el índice estacional.

$$\frac{Y}{E} = T * C * I \quad (2.19)$$

Componente de tendencia.- El método de mínimos cuadrados se determina la ecuación de la curva que representa la tendencia en la serie de datos resultante al eliminar el componente estacional.

Componente cíclica e irregular.- Encontrando los dos componentes anteriores, queda por determinárselos componentes cíclica e irregular

$$\frac{y}{T * E} = C * I \quad (2.20)$$

Para determinar el componente cíclica se aplica medias móviles a  $C * I$  para luego obtener el componente irregular mediante.

$$I = \frac{C * I}{C} \quad (2.21)$$

### 2.3.4 Modelos ARMA de Box – Jenkins

Los modelos ARMA, consideran a los valores de una serie estadísticamente dependientes, es decir que puede pensarse en un dato pasado o histórico que está relacionado con un dato actual. El método de Box-Jenkins utiliza esta dependencia para producir un pronóstico a corto plazo con resultados más precisos comparados con los modelos de regresión o los de ajuste exponencial.

El método de Box-Jenkins postula tres clases de modelos regulares:

- Autoregresivos(AR)
- Medias Móviles(MA)
- Autoregresivos de Media Móviles(ARMA)

A más de estos modelos regulares se tiene por inclusión del componente estacional, los modelos estacionales.

Las ecuaciones matemáticas de los modelos mencionados son:

#### 2.3.4.1 Modelo Autoregresivo AR (p)

$$Y_t = \phi_1 Y_{t-1} + \phi_2 Y_{t-2} + \phi_3 Y_{t-3} + \dots + \phi_p Y_{t-p} + e_t \quad (2.22)$$

Dónde:

$Y_{t-1}, Y_{t-2}, \dots, Y_{t-p}$  Valores previos de la misma variable en los periodos t-1, t-2, t-3, .....t-p

$\phi_i$ ; Coeficientes de los modelos obtenidos por mínimos cuadrados.

$e_t$ ; Es el error y representa la parte aleatoria que no puede ser explicada por el modelo. El error no debe estar correlacionado.

#### 2.3.4.2 Modelo de Medias Móviles MA (q):

$$y_t = e_t - \phi_1 e_{t-1} - \phi_2 e_{t-2}, \dots, \phi_q e_{t-q} \quad (2.23)$$

Dónde:

$e_t$ , es el error y es igual a  $(Y_t - \hat{Y}_t)$

$e_{t-1}, e_{t-2}, \dots, e_{t-q}$ , son los valores del error

Previos, es decir la variable dependientes una función de los valores del error



#### 2.3.4.3 Modelo Autoregresivo de Medias Móviles (ARMA (p, q))

Este modelo puede ser descrito como una combinación de los procesos AR (p) y MA (q)

Su forma general es la siguiente:

$$Y_t = \phi_1 Y_{t-1} + \phi_2 Y_{t-2} + \dots + \phi_p Y_{t-p} - \phi_1 e_{t-1} - \phi_2 e_{t-2} - \dots - \phi_q e_{t-q} + e_t \quad (2.24)$$

Donde la variable  $Y_t$  depende tanto de los valores pasados como de los errores entre los valores actuales y pronosticados de la serie.

Al combinar los modelos básicos descritos con diferentes operadores se obtiene los siguientes modelos cuyas ecuaciones simplificadas son las siguientes:

#### 2.3.4.4 Modelo ARMA Integrado (ARIMA)

Los modelos ARMA cuya serie original sufrió modificaciones (diferenciaciones) con el objeto de cumplir restricciones de estacionalidad. Está representado por la ecuación:

$$\phi(B) \nabla^d Z_t = \phi(B) \epsilon_t \quad (2.25)$$

Dónde:

$\nabla$ , es el “operador diferencia”

$B$ , es el “operador regresivo”

$Z_t$ , es la serie de trabajo obtenida al diferenciar la serie original  $Y_t$

#### 2.3.4.5 Modelo ARIMA estacional (SARIMA)

Utilizado cuando la serie presenta un comportamiento estacional.

$$Z_t = (1 - B^L)^D (1 - B)^d Y_t \quad (2.26)$$

Dónde:

L; Periodo de la estacionalidad

D; Número de diferenciaciones estacionales

d; Número de diferenciaciones regulares

## **2.4 Selección de modelo más apropiado**

Los modelos de estimación ayudan a determinar un comportamiento futuro, la elección de un modelo depende de:

- La precisión deseada
- Costo del procedimiento
- Tiempo disponible para realizar el estudio
- Los periodos futuros que se deseen pronosticar
- La validez y disponibilidad de los datos históricos
- Los beneficios del resultado

Para el presente trabajo se necesita un modelo que siga la tendencia de los datos históricos, y ofrezca simplicidad y el menor error posible.

### **2.4.1 Modelo matemático a aplicarse**

Siendo los métodos cuantitativos los métodos sujetos a ser modelados mediante programas computacionales y los de mayor precisión, a continuación se realiza una descripción de los métodos a aplicarse en el tema de investigación.

#### **2.4.1.1 Método de regresión simple**

Los modelos o métodos de regresión simple relacionan dos variables, sea Y la variable dependiente y X la variable independiente; matemáticamente se relacionan de la siguiente manera:

$$Y = A + BX \quad (2.33)$$

Dónde:

A; Intersección en el eje Y cuando X=0

B; Pendiente de la recta, interpreta la variación de Y al incrementar X

Y; Variable dependiente

X; variable independiente

Esta relación se resuelve a través de la solución de las siguientes ecuaciones A Y B, la resolución de las ecuaciones se las realiza por el método de los mínimos cuadrados, este encuentra la mejor relación lineal entre variable dependiente y variable independiente.[23]

$$A = \frac{\sum Y + B \sum X}{n} \quad (2.34)$$

$$B = \frac{\sum XY - \sum X \sum Y}{(\sum X)^2 - n \sum X^2} \quad (2.35)$$

Dónde:

A; Intersección en el eje Y cuando X=0

B; Pendiente de la recta, interpreta la variación de Y al incrementar X

$\sum Y$ ; Sumatoria de la variable dependiente

$\sum X$ ; Sumatoria de la variable independiente

$\sum XY$ ; Sumatoria del producto de las variables

n; Número de variables

#### 2.4.1.2 Método de regresión polinomial

El método de regresión polinomial describe la relación que existe entre la variable dependiente X y la variable dependiente Y, dicha relación no es lineal es de grado m. Este tipo de regresión se la representa de la siguiente manera:

$$Y = A_0 + A_1X + A_2X^2 + A_3X^3 + \dots + A_mX^m = \sum_{i=0}^n A_iX_i \quad (2.36)$$

Dónde:

A; Coeficientes a determinar

Y; Variable dependiente

X; variable independiente

m; grado del polinomio

La dificultad en este tipo de regresión se presenta al determinar los coeficientes  $A_0, A_1, A_2, A_3, \dots, A_m$ .

Las m+1 ecuaciones con m+1 incógnitas son:

$$\begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n X_i^0 & \sum_{i=1}^n X_i^1 & \sum_{i=1}^n X_i^2 & \cdots & \sum_{i=1}^n X_i^m \\ \sum_{i=1}^n X_i^1 & \sum_{i=1}^n X_i^2 & \sum_{i=1}^n X_i^3 & \cdots & \sum_{i=1}^n X_i^{m+1} \\ \sum_{i=1}^n X_i^2 & \sum_{i=1}^n X_i^3 & \sum_{i=1}^n X_i^4 & \cdots & \sum_{i=1}^n X_i^{m+2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sum_{i=1}^n X_i^m & \sum_{i=1}^n X_i^{m+1} & \sum_{i=1}^n X_i^{m+2} & \cdots & \sum_{i=1}^n X_i^{2m} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_0 \\ A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_M \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n Y_i X_i^0 \\ \sum_{i=1}^n Y_i X_i^1 \\ \sum_{i=1}^n Y_i X_i^2 \\ \vdots \\ \sum_{i=1}^n Y_i X_i^m \end{bmatrix} \quad (2.37)$$

$$\sum_{i=1}^n X_i^0 = n$$

#### 2.4.1.3 Método de regresión lineal múltiple

Mediante el método de regresión lineal múltiple o multivariable podemos realizar una estimación de la demanda más compleja, ya que podemos incluir más de una variable dependiente. El método de regresión lineal multivariable es de la siguiente forma: [24]

$$Y = A_0 + A_1 X_1 + A_2 X_2 + \cdots + A_k X_k = A_0 + \sum_{i=1}^n A_i X_i \quad (2.38)$$

Dónde:

A; Coeficientes a determinar

Y; Variable dependiente

$X_1, X_2$ ; Variables independientes

Los parámetros  $A_0, A_1, A_2, \dots, A_n$ , son desconocidos y serán estimados, usando la muestra de datos disponible. Para obtener los parámetros se aplica el método de los mínimos cuadrados para la estimación. [23]

$$\begin{aligned}
Y1 &= A_0 + A_1 X_{11} + A_2 X_{21} + \dots + A_K X_{K1} \\
Y2 &= A_0 + A_1 X_{12} + A_2 X_{22} + \dots + A_K X_{K2} \\
Y3 &= A_0 + A_1 X_{13} + A_2 X_{23} + \dots + A_K X_{K3} \\
&\vdots \\
Yn &= A_0 + A_1 X_{1n} + A_2 X_{2n} + \dots + A_K X_{Kn}
\end{aligned} \tag{2.39}$$

El sistema de ecuaciones (2.39) puede expresarse de una forma más compacta usando notación matricial.

$$Y = \begin{bmatrix} Y1 \\ Y2 \\ Y3 \\ \vdots \\ Yn \end{bmatrix}, \quad x = \begin{bmatrix} 1 & X_{11} & X_{21} & \dots & X_{k1} \\ 1 & X_{12} & X_{22} & \dots & X_{k2} \\ 1 & X_{13} & X_{23} & \dots & X_{k3} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & X_{1n} & X_{2n} & \dots & X_{kn} \end{bmatrix}, \quad A = \begin{bmatrix} A_0 \\ A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_n \end{bmatrix} \tag{2.40}$$

La matriz X es la matriz de regresores. Entre ellos también se incluye al regresor correspondiente al término independiente, este regresor, que a menudo se denomina factor ficticio, toma valor 1 para todas las observaciones. [11], [23]

El modelo de regresión lineal múltiple (2.39) expresado en notación matricial es el siguiente:

$$\begin{bmatrix} Y1 \\ Y2 \\ Y3 \\ \vdots \\ Yn \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & X_{11} & X_{21} & \dots & X_{k1} \\ 1 & X_{12} & X_{22} & \dots & X_{k2} \\ 1 & X_{13} & X_{23} & \dots & X_{k3} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & X_{1n} & X_{2n} & \dots & X_{kn} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} A_0 \\ A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_n \end{bmatrix} \tag{2.41}$$

## **CAPÍTULO III**

### **MODELO COMPUTACIONAL PARA LA ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA**

En el presente capítulo se analiza el modelo matemático, las ecuaciones usadas en el modelo y el procedimiento a seguir para la estimación. Luego se procede a explicar el modelo digital, se realizara una breve introducción al programa computacional utilizado para la estimación y posteriormente se realiza un análisis de los datos que se posee.

Finalmente se muestra las ecuaciones y gráficas resultantes del modelado matemático.

Para un correcto uso del programa computacional se muestra de manera sencilla y gráfica el procedimiento de uso.

#### **3.1 Modelo matemático**

El modelo escogido es de fácil operación y aplicable en la práctica, por lo cual se debe entender sus aspectos fundamentales, comprender e interpretar sus resultados para las distintas situaciones de funcionamiento del modelo.

Para el tema de investigación tratado, aplicaremos los tres tipos de regresiones; lineal, polinomial y multivariable.

Para la estimación de la potencia y energía globales, se toma como información base el PIB per cápita del Ecuador, población y los clientes totales de la EEQ S.A.

La aplicación del modelo de regresión sigue este orden:

- Métodos de suavizamiento.
- Aplicación de regresiones
- Mínimos cuadrados
- Coeficiente de determinación.

##### **3.1.1 Método de suavizamiento**

El método de suavizamiento usado en el modelo matemático propuesto son las medias móviles pero este no incide en los resultados de estimación porque la serie datos obtenidos es muy reducido. Para la muestra de resultados de salida se tomara en cuenta los datos sin

suavizamiento.

### 3.1.1.1 Método de promedios o medias móviles

El método de media móvil propone realizar un promedio entre un número de datos seleccionados por el analista, este número de datos se mantiene para todos los datos conocidos restantes. Los nuevos datos obtenidos suplantando en el modelo a los anteriores. [12]

El modelo está expresado de la siguiente manera:

$$\frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n}, \frac{X_2 + X_3 + \dots + X_{n+1}}{n}, \frac{X_3 + X_4 + \dots + X_{n+2}}{n}, \dots \quad (3.1)$$

Dónde:

X; Valor actual de la variable

n; Número de datos que abarcan el promedio

### 3.1.1.2 Aplicación de regresión

Como anteriormente se definió, en la estimación se aplicarán tres tipos de regresiones: lineal, polinomial y multivariable.

Los modelos intentan explicar el comportamiento de una variable en función de factores exógenos, esto da como resultado una ecuación mediante la cual se podrá realizar la estimación de la variable en estudio.

Para la demanda de energía eléctrica se busca establecer relaciones causa-efecto, entre las variables independientes que pueden usarse para la estimación se encuentran:

$$D = f(PIB, Población, t, IPC, Tarifa, PFA, Salario; DT, CT; \dots) \quad (3.2)$$

Dónde:

D; Demanda eléctrica.

PIB; Producto Interno Bruto.

t; tiempo.

Tar; Tarifa eléctrica.

IPC; ingreso per cápita.

PFA; Precios de fuentes alternativas.

Sal; Salario.

DT; Desarrollo tecnológico.

CT; Clientes totales

Para el modelado el analista puede tomar las variables a criterio personal, estas variables deberán ajustarse al entorno en el cual se realiza el estudio. Es así que en los diferentes tipos de regresiones que se utilizara, se puede decidir con que variable independiente se relaciona a la variable dependiente, en el caso de la regresión multivariable se puede relacionar la variable dependiente con dos variables independientes.

- Regresión Lineal

$$Y = B + AX \quad (3.3)$$

Dónde:

Y; Demanda eléctrica.

B y A; Parámetros desconocidos de las variables independientes.

X; Variable independiente.

En este modelo X (variable independiente) podrá ser representada por el Año, PIB, CT o Pob.

- Regresión Polinomial

$$Y = A_0 + A_1X + A_2X^2 + A_3X^3 + A_4X^4 + A_5X^5 \quad (3.4)$$

Dónde:

Y; Demanda eléctrica.

$A_0, A_1, A_2, A_3, A_4, A_5$ ; Parámetros desconocidos de las variables independientes.

X; Variable independiente.



En este modelo X (variable independiente) podrá ser representada por el Año, PIB, CT o Pob. El programa computacional se encarga de determinar el coeficiente de correlación, mediante el cual realiza una regresión de orden 1 a 5 y determina, que si en un cálculo el factor de correlación es  $\geq 0.9$  (factor de correlación aceptado por el CONELEC) la regresión polinomial adopta ese orden de ecuación, en ese sentido la ecuación que representa el modelo puede ser de orden 1, 2, 3, 4 o 5.

- Regresión Multivariable

$$Y = A_1X_1 + A_2X_2 \quad (3.5)$$

Dónde:

Y; Demanda eléctrica.

$A_1, A_2$ ; Parámetros desconocidos de las variables independientes.

$X_1$ ; Variable independiente.

$X_2$ ; Variable independiente

En este modelo  $X_1$  y  $X_2$  (variables independientes) podrán ser representadas por el Año, PIB, Pob y clientes totales. El programa computacional se encarga de determinar los coeficientes de correlación más cercanos a 1 y elige las dos variables independientes que se incluirán en el modelo. Es así que los resultados de este modelo se pueden mostrar en relación: Año-PIB, Año-Pob o PIB-Pob.

### **3.1.1.3 Determinación de los parámetros del modelo por mínimos cuadrados**

Los parámetros desconocidos  $A_0, A_1, A_2, \dots, A_n$ ; serán calculados usando la muestra de datos disponible. Para la solución de estos parámetros se utilizara el método de los mínimos cuadrados.

El método de mínimos cuadrados sirve para calcular valores desconocidos usando como referencia otras muestras del mismo evento, dicho en otras palabras realiza una

interpolación de valores. Este método consiste en acercar una línea o una curva a los puntos dados por los datos disponibles que corresponden a un evento. [24]

Los estimadores de mínimos cuadrados ordinarios se obtienen a partir de la función muestral:

$$Y_t = \hat{A}_0 + \sum_{i=1}^p \hat{A}_i X_{ti} + e_t \quad (3.6)$$

Dónde:

$Y_t$  ; Variable dependiente a pronosticar en el periodo t.

$\hat{A}_0$  y  $\hat{A}_i$  ; Estimadores muestrales.

$X_{ti}$  ; Variables independientes.

$e_t$  ; Error de estimación.

$$Y_t = \hat{Y}_t + e_t \quad (3.7)$$

Dónde:

$Y_t$  ; Variable dependiente observada en el periodo t o real.

$\hat{Y}_t$  ; Estimación de la variable dependiente o valor calculado.

$e_t$  ; Error de estimación.

La suma del cuadrado de los errores se expresa:

$$\sum_{t=1}^n e_t^2 = \sum_{t=1}^n (Y_t - \hat{Y}_t)^2 = \sum_{t=1}^n (Y_t - \hat{A}_0 - \sum_{i=1}^p \hat{A}_i X_{ti})^2 \quad (3.8)$$

De acuerdo con el principio de mínimos cuadrados ordinario:

$$\min \sum_{t=1}^n e_t^2 = \min \sum_{i=1}^n (Y_t - \hat{A}_0 - \hat{A}_i X_{ti})^2 \quad (3.9)$$

Derivando la expresión anterior con respecto  $\hat{A}_0$  y  $\hat{A}_i$  he igualado a cero respectivamente:

$$\begin{bmatrix} n & \sum_{t=1}^n X_{t1} & \sum_{t=1}^n X_{t2} & \cdots & \sum_{t=1}^n X_{tm} \\ \sum_{t=1}^n X_{t1} & \sum_{t=1}^n X_{t1}^2 & \sum_{t=1}^n X_{t1} X_{t2} & \cdots & \sum_{t=1}^n X_{t1} X_{tm} \\ \sum_{t=1}^n X_{t2} & \sum_{t=1}^n X_{t2} X_{t1} & \sum_{t=1}^n X_{t2}^2 & \cdots & \sum_{t=1}^n X_{t2} X_{tm} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sum_{t=1}^n X_{tm} & \sum_{t=1}^n X_{tm} X_{t1} & \sum_{t=1}^n X_{tm} X_{t2} & \cdots & \sum_{t=1}^n X_{tm}^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{A}_0 \\ \hat{A}_1 \\ \hat{A}_2 \\ \vdots \\ \hat{A}_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{t=1}^n Y_t \\ \sum_{t=1}^n Y_t X_{t1} \\ \sum_{t=1}^n Y_t X_{t2} \\ \vdots \\ \sum_{t=1}^n Y_t X_{tm} \end{bmatrix} \quad (3.10)$$

#### 3.1.1.4 Coeficiente de determinación

Una vez determinadas las ecuaciones del modelo es necesario realizar un proceso de validación de los resultados, este proceso servirá para saber cuál es el porcentaje de acierto del modelo matemático aplicado. El error de la estimación depende directamente de las variables. El coeficiente de determinación mide el cambio de una variable dependiente en función de su variable independiente. Mientras el resultado tienda más a 1 mejor es el ajuste del modelo. [24]

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} \quad (3.11)$$

Dónde:

$Y_i$ ; Valor observado.

$\bar{Y}$ ; Media.

$\hat{Y}_i$  ; Valor estimado en la regresión.

$X_2$ ; Variable independiente.

La decisión de que método usar después de obtener los resultados de coeficiente de determinación, depende del analista.

### **3.1.2 Modelo digital**

El modelo computacional seleccionado para realizar los cálculos de estimación, es MATLAB Release 2013b. La programación del modelo digital se muestra en el Anexo B.

### **3.1.3 Introducción a Matlab**

MatLab es un programa interactivo para computación numérica y visualización de datos. Es ampliamente usado por analistas de diversas áreas en el análisis y diseño, posee además una extraordinaria versatilidad y capacidad para resolver problemas en matemática aplicada, física, química, ingeniería, finanzas y muchas otras aplicaciones. Está basado en un sofisticado software de matrices para el análisis de sistemas de ecuaciones. Permite resolver complicados problemas numéricos sin necesidad de escribir un programa.

MATLAB es un entorno de computación y desarrollo de aplicaciones totalmente integrado orientado para llevar a cabo proyectos en donde se encuentren implicados elevados cálculos matemáticos y la visualización gráfica de los mismos.

MATLAB integra análisis numérico, cálculo matricial, proceso de señal y visualización gráfica en un entorno completo donde los problemas y sus soluciones son expresados del mismo modo en que se escribirían tradicionalmente, sin necesidad de hacer uso de la programación tradicional.

El nombre de MATLAB proviene de la contracción de los términos MATrix LABoratory y fue inicialmente concebido para proporcionar fácil acceso a las librerías LINPACK y EISPACK, las cuales representan hoy en día dos de las librerías más importantes en computación y cálculo matricial.

MATLAB es un sistema de trabajo interactivo cuyo elemento básico de trabajo

son las matrices. El programa permite realizar de un modo rápido la resolución numérica de problemas en un tiempo mucho menor que si se quisiesen resolver estos mismos problemas con lenguajes de programación tradicionales como pueden ser los lenguajes Fortran, Basic o C.

MATLAB goza en la actualidad de un alto nivel de implantación en escuelas y centros universitarios, así como en departamentos de investigación y desarrollo de muchas compañías industriales nacionales e internacionales.

En entornos universitarios, por ejemplo, MATLAB se ha convertido en una herramienta básica, tanto para los profesionales e investigadores de centros docentes, como una importante herramienta para la impartición de cursos universitarios, tales como sistemas e ingeniería de control, álgebra lineal, proceso digital de imagen, señal, etc.

En el mundo industrial, MATLAB está siendo utilizado como herramienta de investigación para la resolución de complejos problemas planteados en la realización y aplicación de modelos matemáticos en ingeniería. Los usos más característicos de la herramienta los encontramos en áreas de computación y cálculo numérico tradicional, prototipaje algorítmico, teoría de control automático, estadística, análisis de series temporales para el proceso digital de señal.

MATLAB dispone también en la actualidad de un amplio abanico de programas de apoyo especializados, denominados Toolboxes, que extienden significativamente el número de funciones incorporadas en el programa principal. Estos Toolboxes cubren en la actualidad prácticamente casi todas las áreas principales en el mundo de la ingeniería y la simulación, destacando entre ellos el 'toolbox' de proceso de imágenes, señal, control robusto, estadística, análisis financiero, matemáticas simbólicas, redes neurales, lógica difusa, identificación de sistemas, simulación de sistemas dinámicos, etc.

Además también se dispone del programa Simulink que es un entorno gráfico interactivo con el que se puede analizar, modelizar y simular la dinámica de sistemas, este programa será el utilizado en el modelo digital. [26]

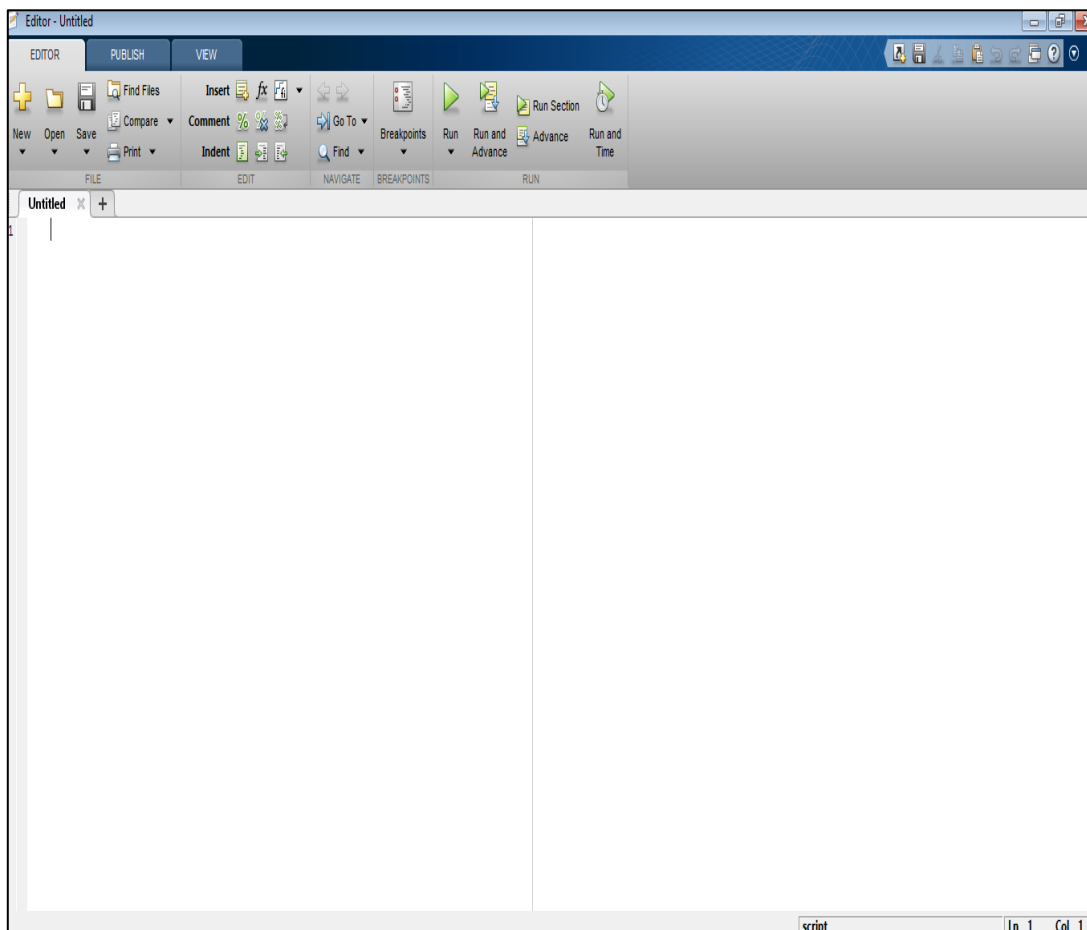
### **3.1.3.1 Uso de matrices**

MatLab emplea matrices porque con ellas se puede describir infinidad de cosas de

una forma altamente flexible y matemáticamente eficiente. Una matriz de pixeles puede ser una imagen o una película. Una matriz de fluctuaciones de una señal puede ser un sonido o una voz humana. Y tal vez más significativamente, una matriz puede describir una relación lineal entre los componentes de un modelo matemático. En este último sentido, una matriz puede describir el comportamiento de un sistema extremadamente complejo. Por ejemplo una matriz puede representar el vuelo de una avión a 40.000 pies de altura, o un filtro digital de procesamiento de señales.

### 3.1.3.2 Ventanas de Matlab

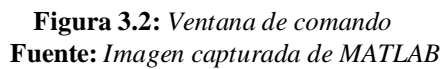
- Editor de programación



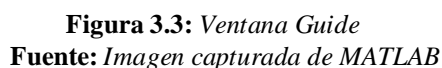
**Figura 3.1:** Ventana de edición de programación  
**Fuente:** Imagen capturada de MATLAB

El editor de programación de MATLAB se realiza sobre archivos M-files se lo domina de esta forma debido a su extensión (\*.m). Los archivos de MATLAB son simplemente

- Ventana de comando



- Entorno gráfico



Guide es un entorno de programación gráfico disponible en MATLAB para realizar y ejecutar programas que necesiten un ingreso continuo de datos.

Un guide consta de dos archivos: .m y .fig. En el archivo .m se encuentra el código de programación con las correspondencias de los botones de la interfaz y en el archivo .fig se encuentran los elementos gráficos de la interfaz. Cada vez que se adicione un elemento nuevo en la interfaz gráfica genera automáticamente un código en el archivo .m.

### 3.2 Datos de entrada

Los datos obtenidos o variables exógenas analizadas en esta investigación fueron de tipo macroeconómico PIB per cápita nacional, población y clientes totales de la EEQ S.A. Las fuentes consultadas fueron organismos nacionales e internacionales.

#### 3.2.1 Producto interno bruto (PIB)

El Banco Mundial y el BCE, no poseen datos del PIB por provincias en el caso de Ecuador, por lo que se utiliza el PIB per cápita del Ecuador obtenido del Banco Mundial, para el periodo 2001-2013, para el periodo 2014-2022 no fue posible conseguir proyecciones de entidades nacionales o internacionales, por lo que para el resto de periodos se mantiene la tasa de crecimiento prevista por el BCE del 3,28%.

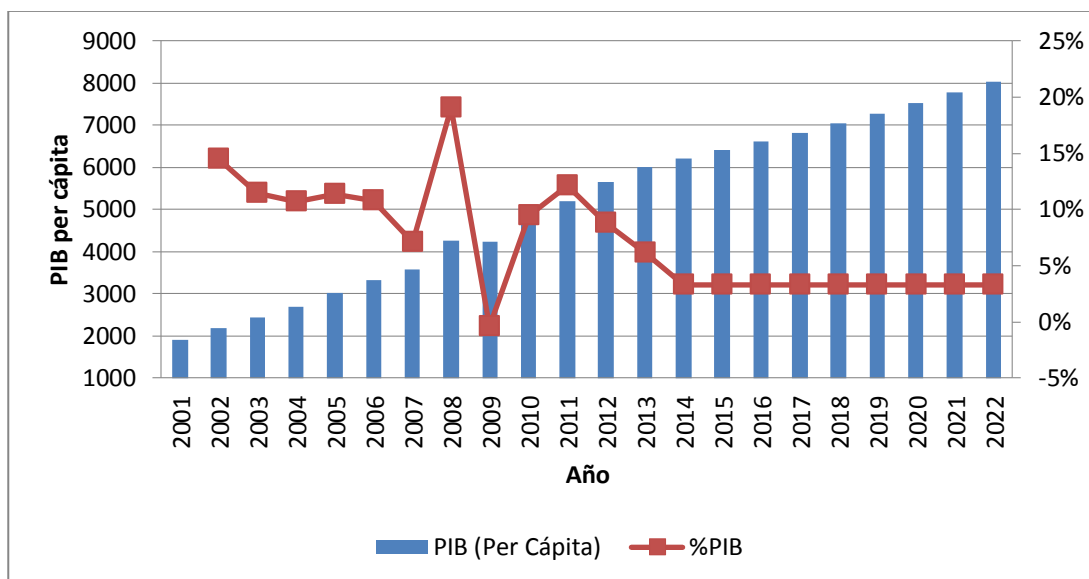
Año	PIB (Per Cápita)	%PIB
2001	1914,40	
2002	2191,00	14,45%
2003	2442,30	11,47%
2004	2704,70	10,74%
2005	3012,80	11,39%
2006	3337,40	10,77%
2007	3574,90	7,12%
2008	4255,90	19,05%
2009	4236,80	-0,45%
2010	4636,70	9,44%
2011	5199,70	12,14%
2012	5655,90	8,77%
2013	6002,90	6,14%
2014	6199,80	3,28%
2015	6403,15	3,28%
2016	6613,17	3,28%
2017	6830,08	3,28%
2018	7054,11	3,28%



2019	7285,49	3,28%
2020	7524,45	3,28%
2021	7771,25	3,28%
2022	8026,15	3,28%

**Tabla 3.1:** Año-PIB per cápita-%crecimiento

**Fuente:** Banco Mundial [26]



**Figura 3.4:** Evolución del PIB per cápita en Ecuador

**Fuente:** Autoría propia

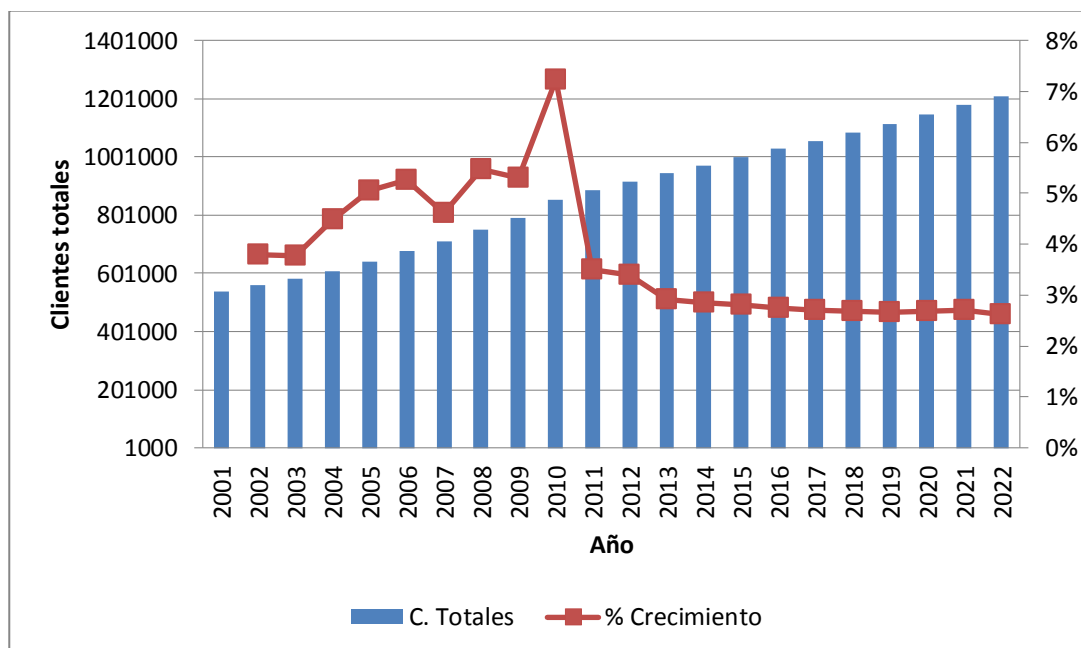
### 3.2.2 Clientes Totales EEQ S.A

Para el modelo a aplicarse se toma en cuenta los clientes totales de EEQ S.A, la proyección de datos de la EEQ S.A, es el resultado de sumar los datos obtenidos para cada cantón-empresa, para el caso de la EEQ S.A, se toma en cuenta a: Quito, Rumiñahui, Mejía, Pedro Vicente Maldonado, San Miguel de los Bancos, parte de: Puerto Quito y Cayambe, en la provincia de Pichincha y Los Quijos y el Chaco en la provincia de Napo.

Año	C. Totales	% Crecimiento
2001	538153	
2002	559406	3,80%
2003	581394	3,78%
2004	608760	4,50%

2005	641150	5,05%
2006	676769	5,26%
2007	709451	4,61%
2008	750574	5,48%
2009	792643	5,31%
2010	854420	7,23%
2011	885472	3,51%
2012	916525	3,39%
2013	943996	2,91%
2014	971799	2,86%
2015	999896	2,81%
2016	1028168	2,75%
2017	1056839	2,71%
2018	1086082	2,69%
2019	1115897	2,67%
2020	1146625	2,68%
2021	1178410	2,70%
2022	1210107	2,62%

**Tabla 3.2:** *Cientes totales EEQ S.A*  
**Fuente:** *Autoría propia*



**Figura 3.5:** *Evolución de clientes totales EEQ S.A*  
**Fuente:** *Autoría propia*

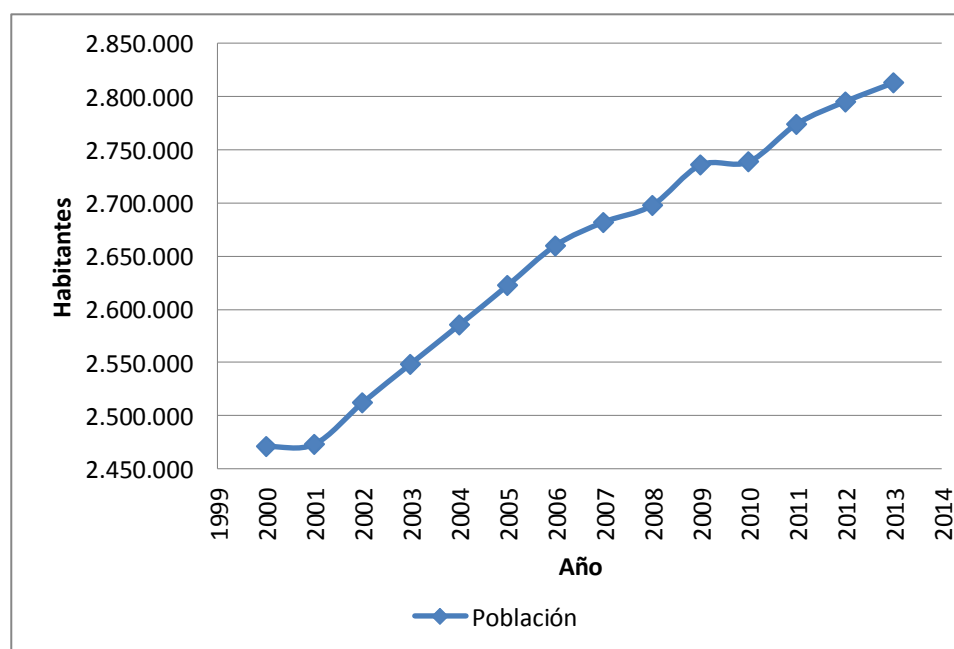
### 3.2.3 Población EEQ S.A

Se cuenta con información de población de los censos nacionales de población y vivienda de los años 1990, 2001 y 2010 del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos.

	POBLACIÓN DEL ÁREA DE CONSECIÓN DE LA EEQ S.A.			
X	Población (Y)			
Año	Cantón El Chaco	Cantón Quijos	Provincia de Pichincha	Área de Concesión EEQ S.A.
2000	6.290	5.690	2.458.982	2.470.962
2001	6.371	5.718	2.461.071	2.473.160
2002	6.457	5.796	2.499.969	2.512.222
2003	6.660	5.978	2.536.195	2.548.833
2004	6.867	6.164	2.572.154	2.585.185
2005	7.055	6.333	2.608.856	2.622.244
2006	7.233	6.493	2.646.426	2.660.152
2007	7.442	6.680	2.667.953	2.682.075
2008	7.632	6.851	2.683.272	2.697.755
2009	7.808	7.008	2.720.764	2.735.580
2010	7.965	7.149	2.723.509	2.738.623
2011	8.214	7.463	2.758.629	2.774.306
2012	8.401	7.510	2.779.370	2.795.281
2013	8.593	7.558	2.796.838	2.812.989

**Tabla 3.3:** Población EEQ S.A

Fuente: Autoría propia



**Figura 3.6:** Evolución de la población EEQ S.A

Fuente: Autoría propia

### 3.2.4 Datos de potencia y energía

La demanda máxima y el consumo residencial, comercial, industrial, otros y total fueron entregados por el Ing. Santiago Almeida del Departamento de Planificación de la Empresa Eléctrica Quito S.A. En el Anexo A se muestra la carta de pedido de datos históricos.

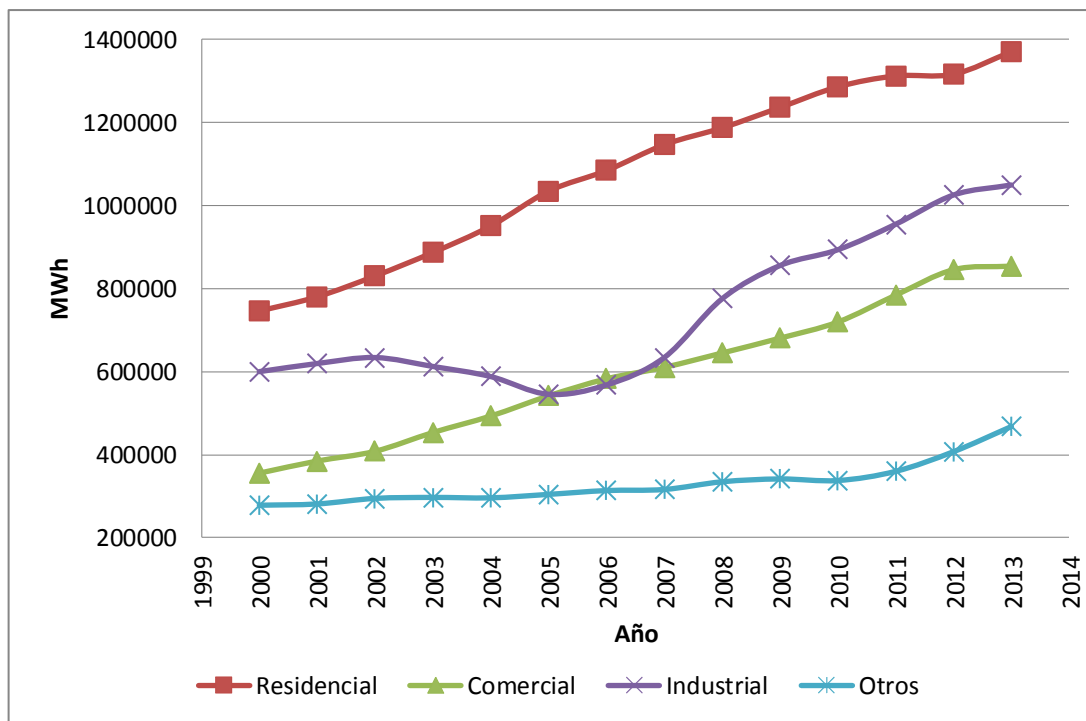
#### Empresa Eléctrica Quito S.A.

D. máx. MW		Histórico de potencia y energía					
Año	MW	Consumo de energía por sectores MWh					
Año		Residencial	Comercial	Industrial	Otros	Total	
1994	353,40						
1995	392,60	2000	745.850,15	355.426,99	599.880,06	278.164,81	1.979.322,01
1996	408,90	2001	780.084,21	384.598,92	619.423,76	281.247,02	2.065.353,90
1997	439,65	2002	830.179,86	408.044,42	633.830,05	294.629,21	2.166.683,55
1998	446,22	2003	886.862,98	453.224,47	612.355,45	296.994,96	2.249.437,86
1999	442,91	2004	950.517,81	492.956,99	588.026,43	295.981,26	2.327.482,49
2000	450,08	2005	1.034.456,37	541.500,67	545.345,32	304.289,40	2.425.591,76
2001	475,11	2006	1.084.042,47	582.528,34	567.733,56	313.498,71	2.547.803,09
2002	505,34	2007	1.146.438,53	610.144,62	633.869,75	316.107,88	2.706.560,78
2003	512,86	2008	1.186.909,01	644.803,21	775.321,76	334.675,50	2.941.709,47
2004	538,46	2009	1.236.016,82	680.482,03	855.347,20	341.460,39	3.113.306,44
2005	551,28	2010	1.285.756,77	719.358,55	893.450,43	337.685,41	3.236.251,16
2006	568,89	2011	1.311.964,46	784.039,57	954.904,26	359.810,90	3.410.719,19
2007	589,71	2012	1.316.178,32	845.426,93	1.025.291,73	407.184,96	3.594.081,94
2008	615,26	2013	1.370.254,33	853.882,56	1.049.430,41	467.701,91	3.741.269,21
2009	624,54						
2010	647,04						
2011	663,45						
2012	665,19						
2013	707,78						
2014	710,83						

**Tabla 3.4:** Datos de potencia y energía EEQ S.A

**Fuente:** Ing. Santiago Almeida, Dirección de Planificación EEQ S.A.

En la figura 3.6 se muestra el consumo de energía por sectores, el consumo industrial, muestra una tendencia diferente a los otros consumos por sectores, se debe realizar un análisis de los datos obtenidos, o un tratamiento matemático, por ejemplo el uso de medias móviles. Para el tema de investigación solo se utilizaran potencia y energía globales, por lo cual se pasa por alto esta observación.



**Figura 3.7:** Potencia y energía EEQ S.A  
**Fuente:** Autoría propia

### 3.3 Resultados de salida

Para los tres tipos de modelamiento los resultados se muestran en función de sus ecuaciones, cabe resaltar que se realizó una estimación de potencia y energía globales y consumo por sectores; las variables independientes en relación a la variable dependiente fueron anteriormente explicadas. Los resultados a tomar en cuenta para el planteamiento de escenarios y la comparación de resultados, son las ecuaciones de demanda máxima y consumo total. Los resultados de los modelos se muestran en forma de ecuación en cada gráfica del programa computacional.

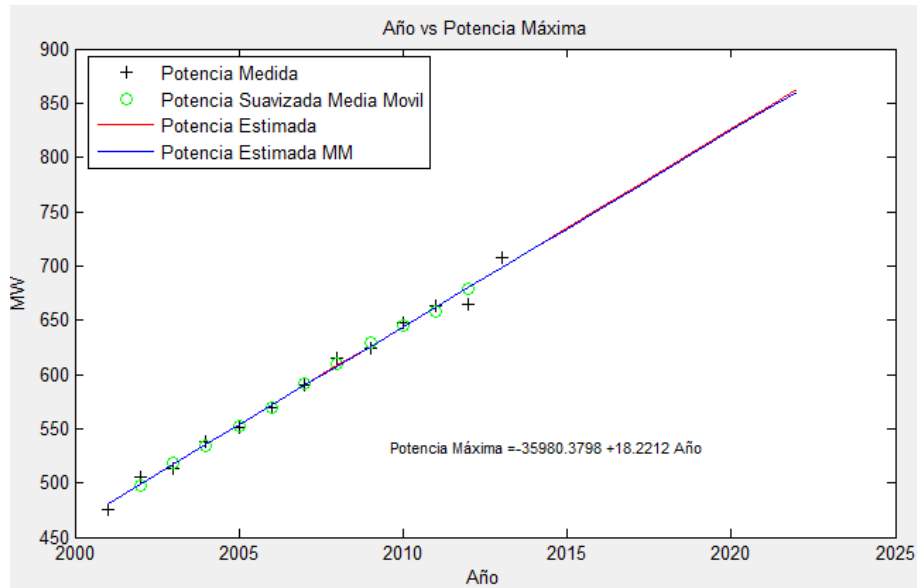
Quedan a disposición del analista las ecuaciones de los modelos por sectores. Para la utilización de la estimación por sectores se debe cambiar el histórico de entrada, es decir si se necesita la estimación del consumo residencial, se deberá ingresar el PIB per cápita residencial o los clientes totales residenciales, los resultados (ecuaciones) solo servirán para el sector de consumo el cual se analiza. Cabe aclarar que los coeficientes de las ecuaciones varían dependiendo de los datos de entrada.

### 3.4.2 Modelo Lineal

Para el modelamiento lineal las ecuaciones se definen de la siguiente manera:

- Potencia máxima-año

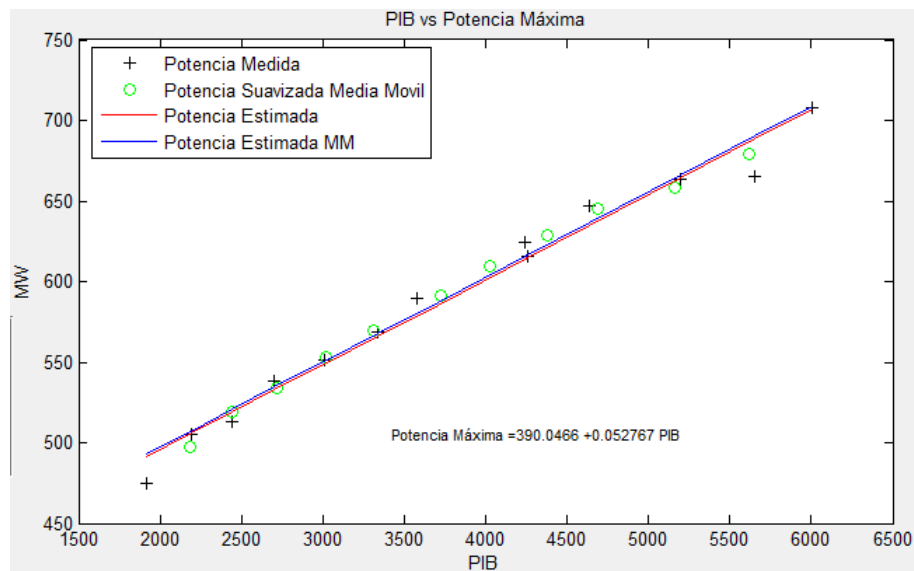
$$PM = -35980.3798 + 18.2212(\text{Año}) \quad (3.12)$$



**Figura 3.8:** Potencia máxima-año  
**Fuente:** Captura pantalla programa modelo digital.

- Potencia máxima-PIB

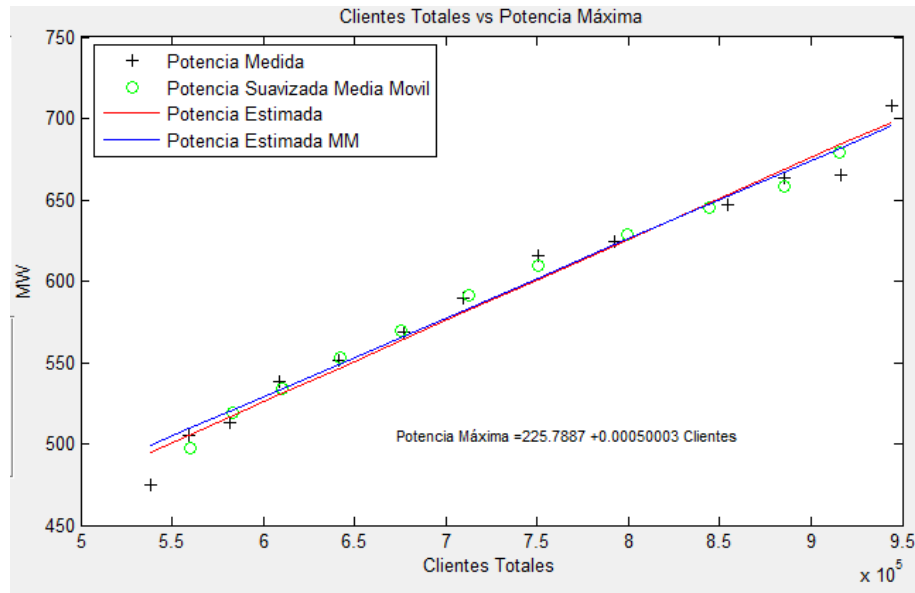
$$PM = 390.0466 + 0.052767(\text{PIB}) \quad (3.13)$$



**Figura 3.9:** Potencia máxima-PIB  
**Fuente:** Captura pantalla programa modelo digital.

- **Potencia Máxima-CT**

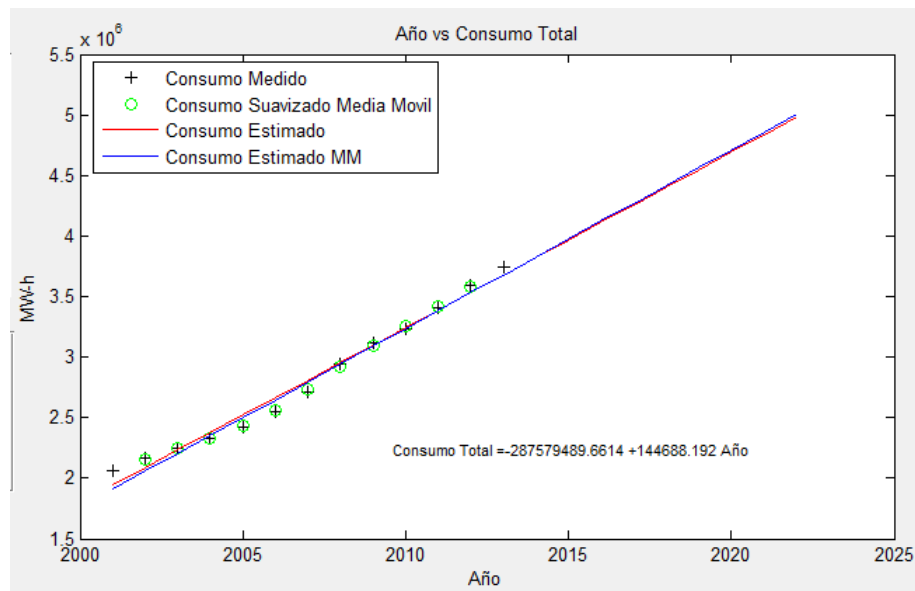
$$PM = 255.7887 + 0.00050003(CT) \quad (3.14)$$



**Figura 3.10:** *Potencia máxima-CT*  
**Fuente:** *Captura pantalla programa modelo digital.*

- **Consumo Total-Año**

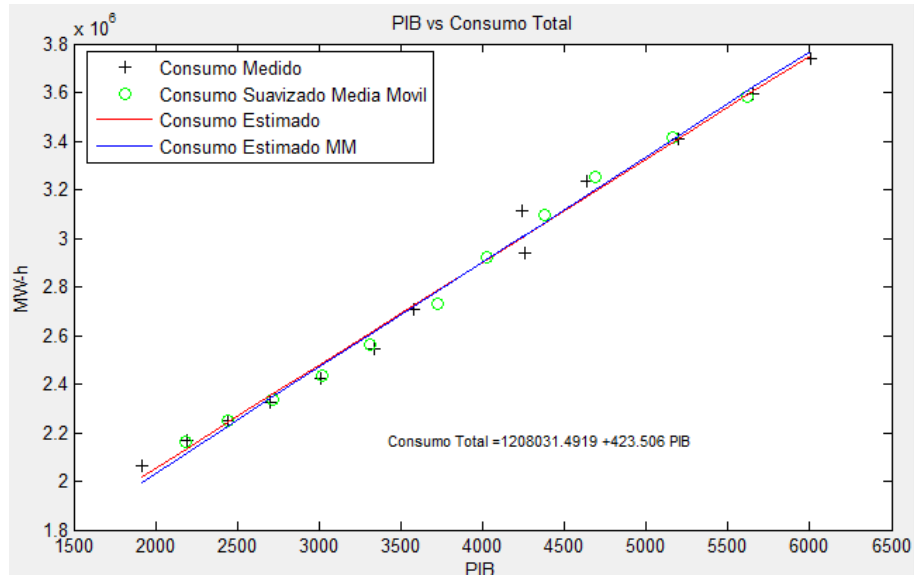
$$CT = -287579489.6614 + 144688.192(Año) \quad (3.15)$$



**Figura 3.11:** *Consumo total-Año*  
**Fuente:** *Captura pantalla programa modelo digital.*

- Consumo Total-PIB

$$CT = 1208031.4919 + 423.506(PIB) \quad (3.16)$$

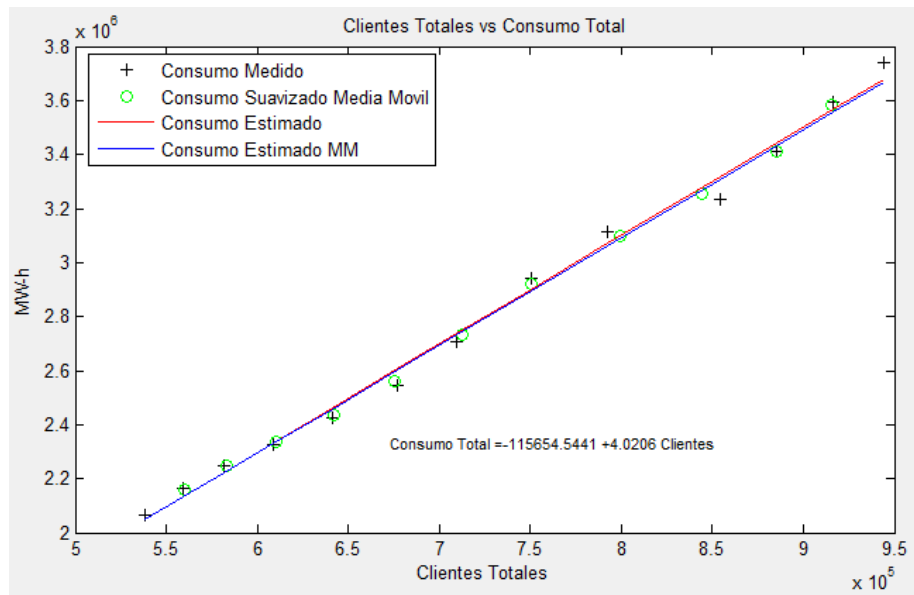


**Figura 3.12:** Consumo total- PIB

**Fuente:** Captura pantalla programa modelo digital.

- Consumo Total-CT

$$CT = -115654.5441 + 4.0206(CT) \quad (3.17)$$



**Figura 3.13:** Consumo total-CT

**Fuente:** Captura pantalla programa modelo digital

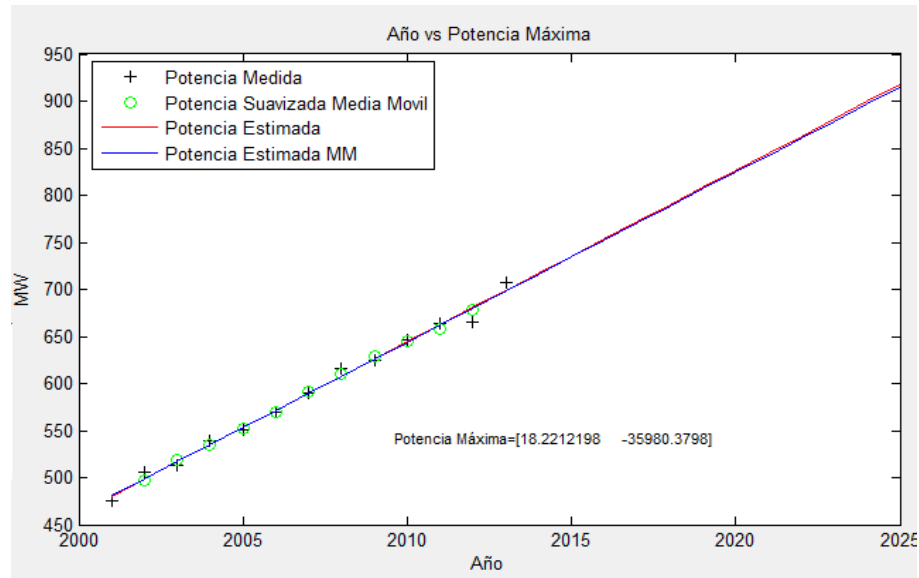


### 3.4.3 Modelo Polinomial

Para el modelamiento polinomial las ecuaciones se definen de la siguiente manera:

- Potencia máxima-año

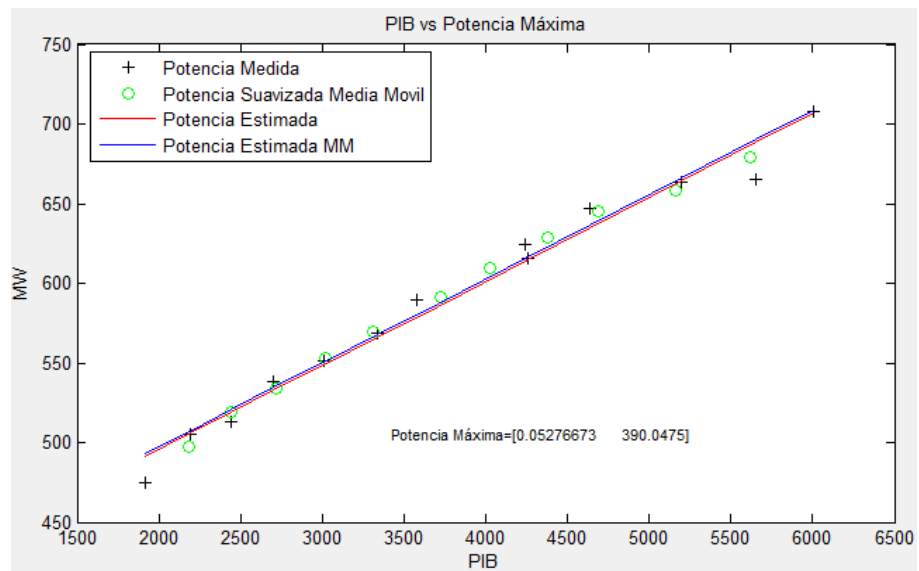
$$PM = -35980.3798 + 18.2212(\text{Año}) \quad (3.18)$$



**Figura 3.14:** Potencia máxima-año  
Fuente: Captura pantalla programa modelo digital

- Potencia máxima-PIB

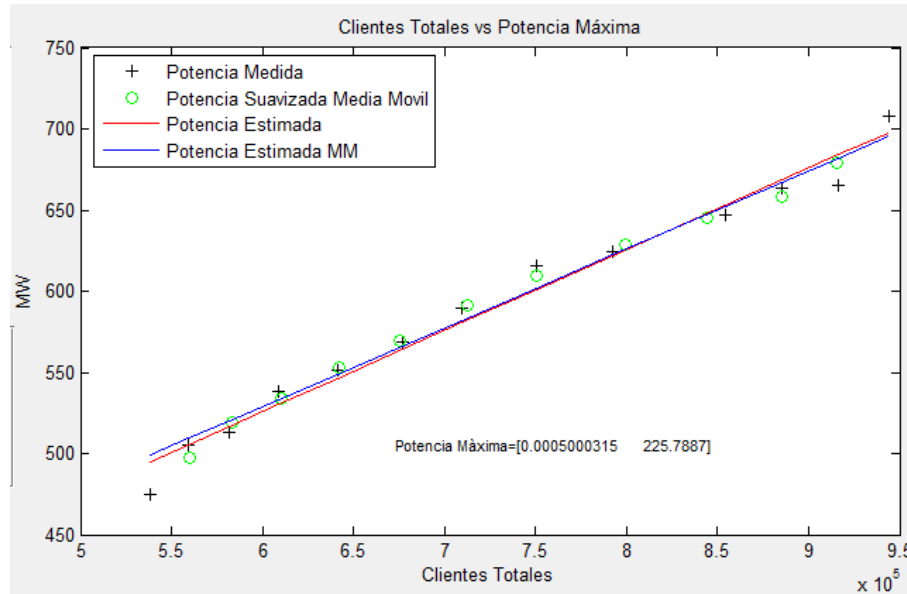
$$PM = 390.0466 + 0.052767(\text{PIB}) \quad (3.19)$$



**Figura 3.15:** Potencia máxima-PIB  
Fuente: Captura pantalla programa modelo digital

- Potencia máxima-CT

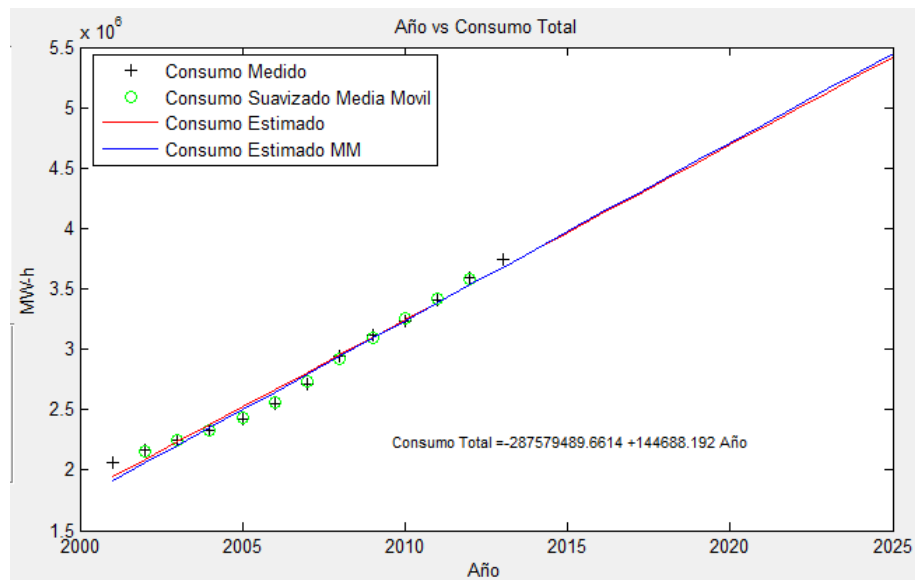
$$PM = 255.7887 + 0.00050003(CT) \quad (3.20)$$



**Figura 3.16: Potencia máxima-CT**  
**Fuente:** Captura pantalla programa modelo digital

- Consumo Total-Año

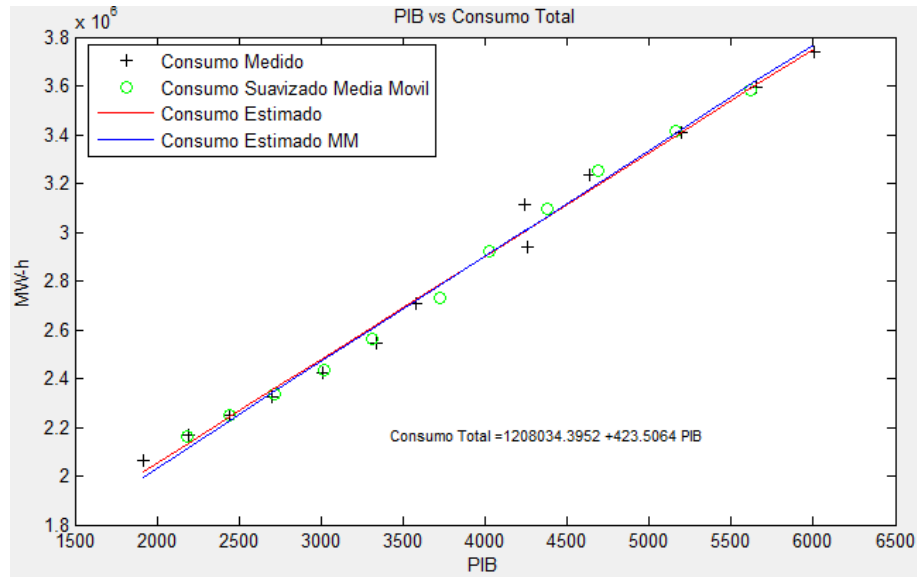
$$CT = -287579489.6614 + 144688.192(Año) \quad (3.21)$$



**Figura 3.17: Consumo total-año**  
**Fuente:** Captura pantalla programa modelo digital

- Consumo Total-PIB

$$CT = 1208031.4919 + 423.506(PIB) \quad (3.22)$$

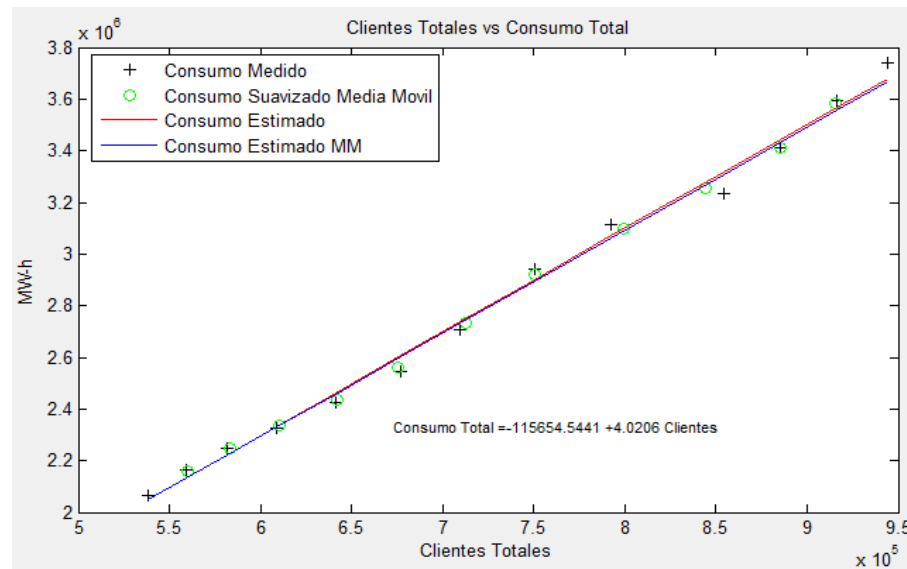


**Figura 3.18:** Consumo total-PIB

**Fuente:** Captura pantalla programa modelo digital

- Consumo Total-CT

$$CT = -115654.5441 + 4.0206(CT) \quad (3.23)$$



**Figura 3.19:** Consumo total-CT

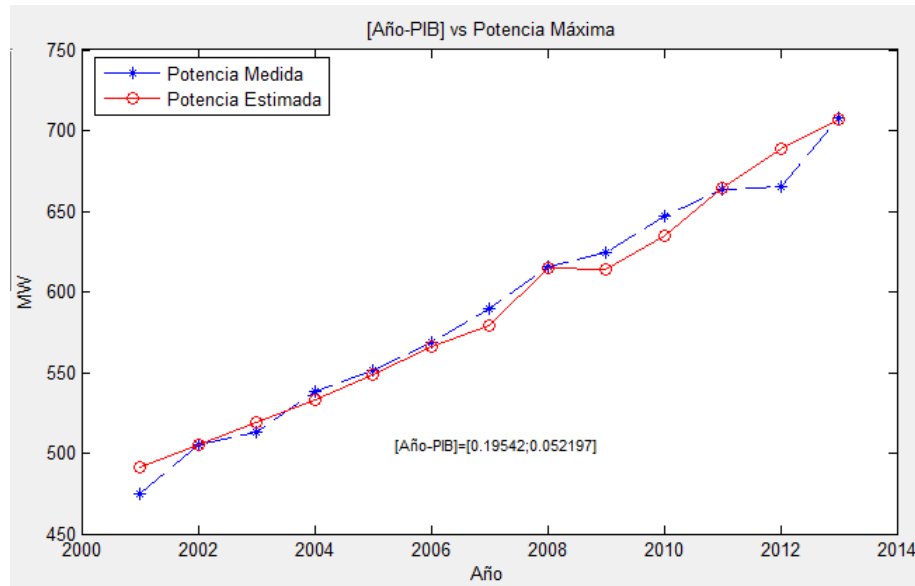
**Fuente:** Captura pantalla programa modelo digital

### 3.4.4 Modelo Multivariable

Para el modelamiento multivariable las ecuaciones se definen de la siguiente manera:

- Potencia máxima-año/PIB

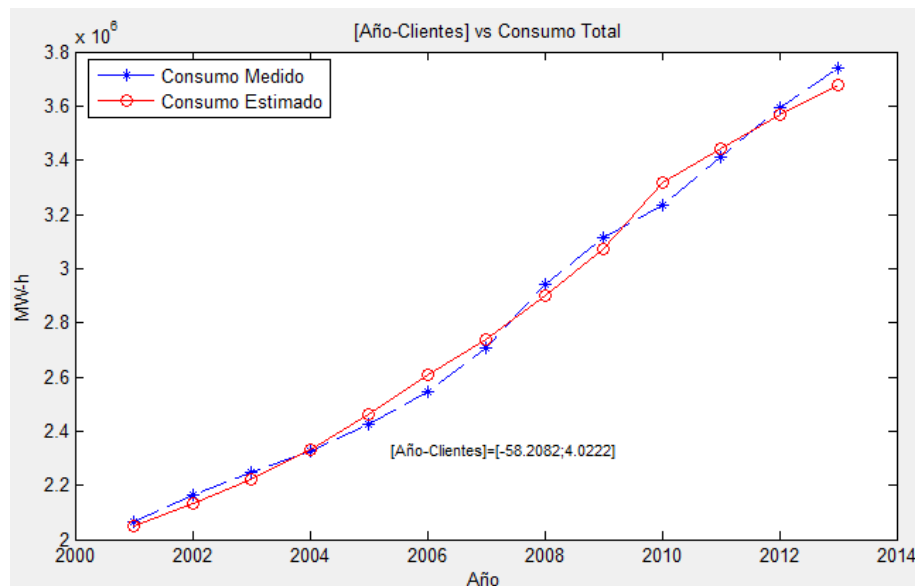
$$PM = 0.19542Año + 0.052197PIB \quad (3.24)$$



**Figura 3.20:** Potencia máxima-año/PIB  
Fuente: Captura pantalla programa modelo digital

- Consumo Total-Año/CT

$$CT = -58.2082Año + 4.0222CT \quad (3.25)$$



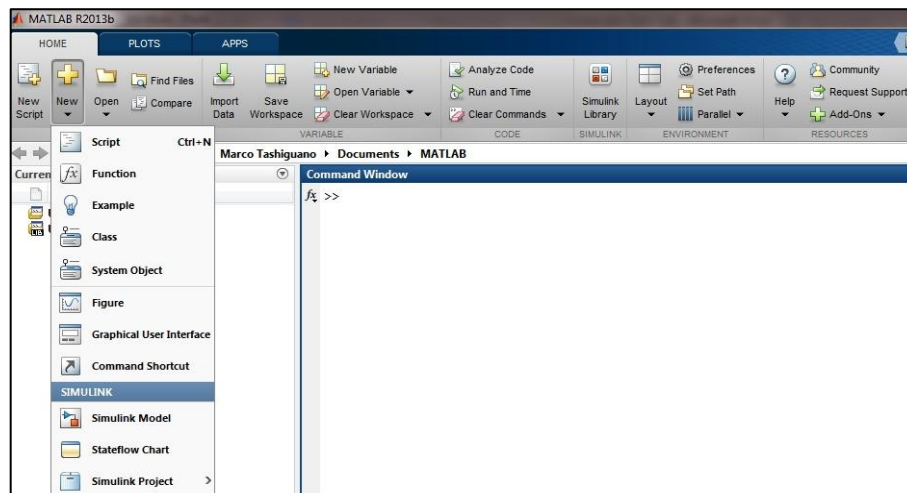
**Figura 3.21:** Consumo Total-año/CT  
Fuente: Captura pantalla programa modelo digital

Las ecuaciones resultantes: 3.12 y 3.18, 3.13 y 3.19, 3.14 y 3.20, 3.15 y 3.21, 3.16 y 3.22, 3.17 y 3.23; son idénticas, para el modelo lineal y no lineal. La diferencia radica en el modo de presentación de las ecuaciones resultantes, en el modelo lineal se muestran en forma de ecuación y en el modelo polinomial se muestran en forma de matriz, este resultado se da porque en el modelo polinomial, realiza una serie de iteraciones para aplicar una ecuación de grado  $m$  que resulte con una correlación  $\geq 0,9$ . Por la forma de los resultados se deduce que para modelar los datos históricos obtenidos en el modelo polinomial, la ecuación de primer grado supera el factor de correlación indicado.

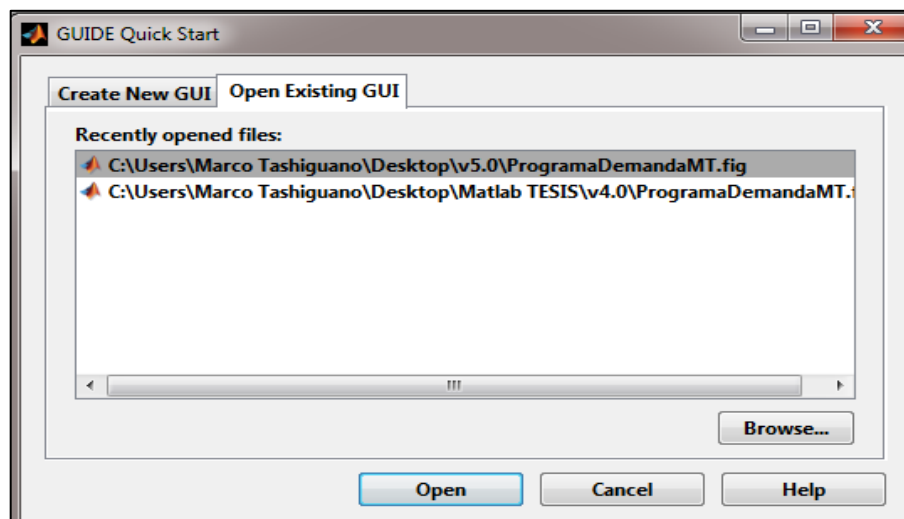
### 3.5 Manual del usuario

El usuario inicia el software MATLAB R2013b

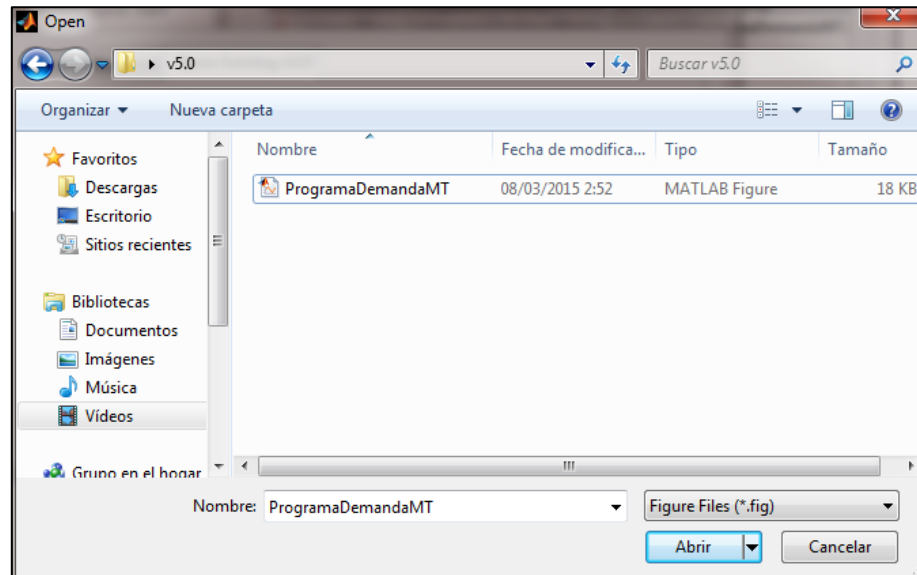
1. Home→New→Graphical User Interface



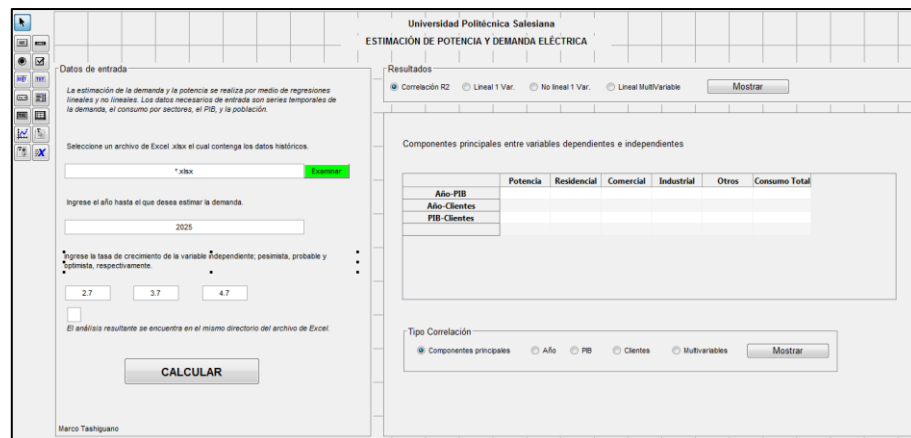
2. Open Existing GUI→ Browse



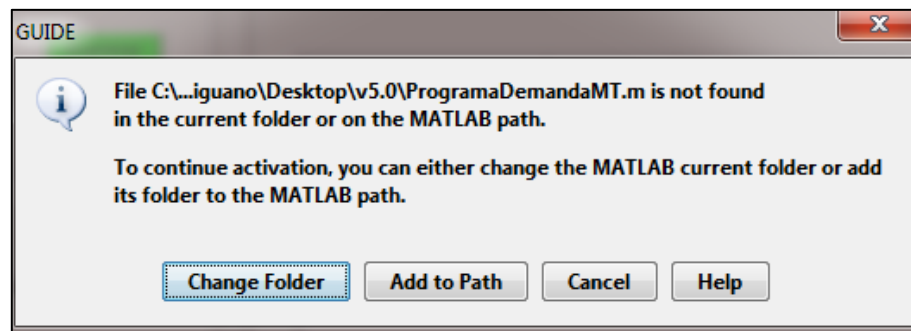
3. Buscamos el archivo ProgramaDemandaMT.fig → Abrir



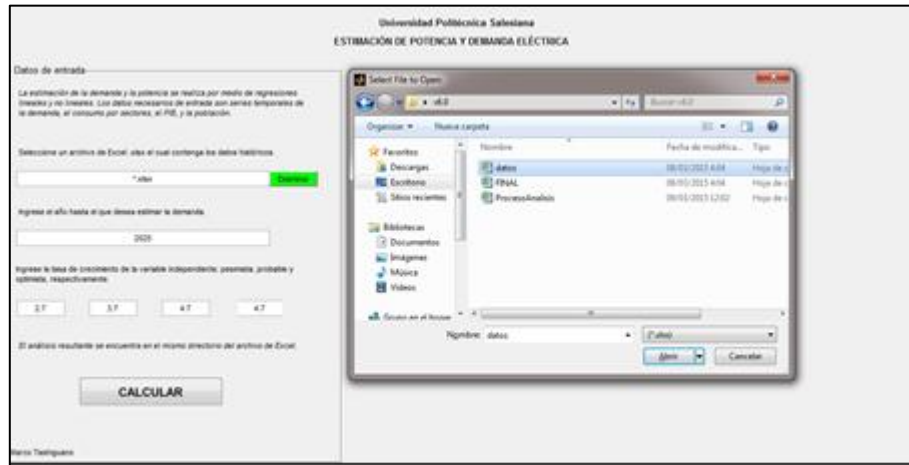
4. Ventana de edición → Run Figure (Ctrl+T)



5. Add to Path (añadimos nuestra carpeta a la ruta de MATLAB)



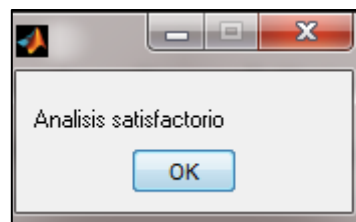
6. Ventana de software → Datos de entrada → Examinar → Buscamos archivo de Excel → Abrir → Ingresamos año de estimación futura → % de crecimiento de la variable independiente → Correlación → CALCULAR



### Formato de archivo de Excel

El archivo de Excel debe contar con una matriz mxn, con los datos del modelo a aplicarse, en la matriz no puede quedar espacios en blanco, a continuación presentamos un ejemplo:

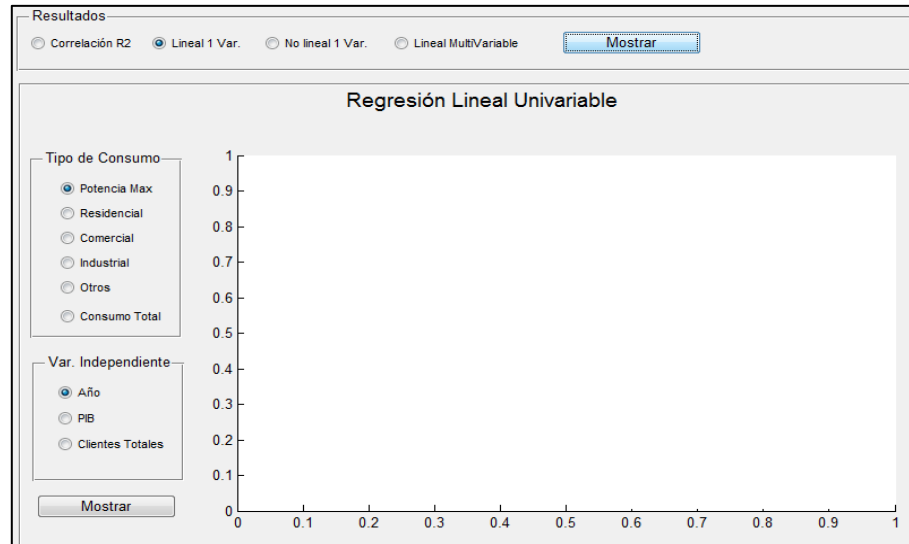
Año	MW	Residencial	Comercial	Industrial	Otros	Total	PIB	C. TOTALES
2001	475,11	780084,21	384598,92	619423,76	281247,02	2065353,90	1914,45	538153,00
2002	505,34	830179,86	408044,42	633830,05	294629,21	2166683,55	2191,01	559406,00
2003	512,86	886862,98	453224,47	612355,45	296994,96	2249437,86	2442,27	581394,00
2004	538,46	950517,81	492956,99	588026,43	295981,26	2327482,49	2704,67	608760,00
2005	551,28	1034456,37	541500,67	545345,32	304289,40	2425591,76	3012,75	641150,00
2006	568,89	1084042,47	582528,34	567733,56	313498,71	2547803,09	3337,40	676769,00
2007	589,71	1146438,53	610144,62	633869,75	316107,88	2706560,78	3574,88	709451,00
2008	615,26	1186909,01	644803,21	775321,76	334675,50	2941709,47	4255,85	750574,00
2009	624,54	1236016,82	680482,03	855347,20	341460,39	3113306,44	4236,78	792643,00
2010	647,04	1285756,77	719358,55	893450,43	337685,41	3236251,16	4636,69	854420,00
2011	663,45	1311964,46	784039,57	954904,26	359810,90	3410719,19	5199,67	885472,00
2012	665,19	1316178,32	845426,93	1025291,73	407184,96	3594081,94	5655,95	916525,00
2013	707,78	1370254,33	853882,56	1049430,41	467701,91	3741269,21	6002,89	943996,00



7. OK→Ventana de resultados de programa

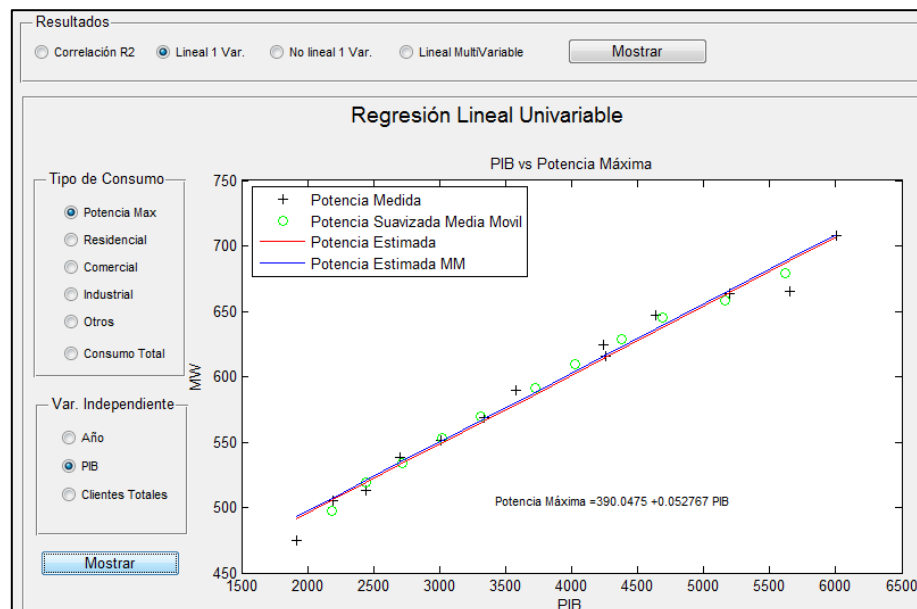
Se puede escoger que modelo visualizar y la correlación

Una vez elegido el modelo (Lineal 1 Var. / No lineal 1 Var. / Lineal Multivariable / Correlación R2)→Mostrar



8. Regresión Lineal Univariable

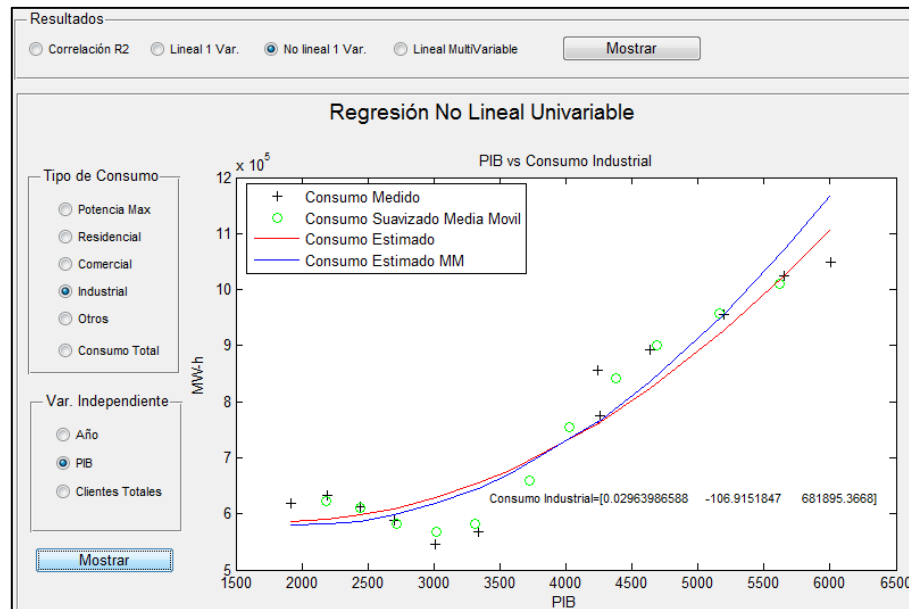
Se puede elegir entre tipo de consumo y variable independiente, una vez elegido→Mostrar





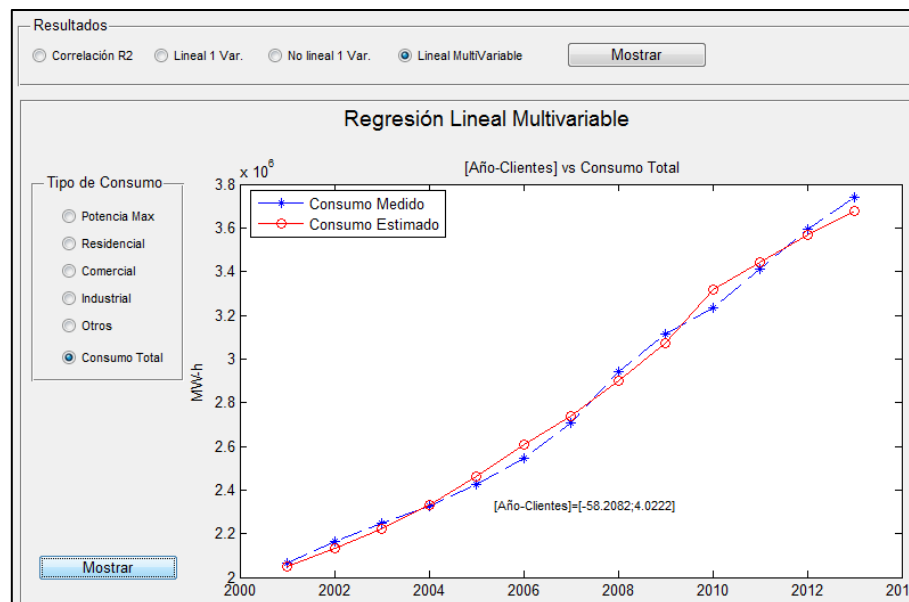
## 9. Regresión No Lineal Univariable

Se puede elegir entre tipo de consumo y variable independiente, una vez elegido →  
Mostrar



## 10. Regresión Multivariable

Analiza los tipos de consumo en función de las mejores correlaciones entre variables independientes.



## 11. Componentes principales

Correlación entre variables dependientes e independientes.

Componentes principales entre variables dependientes e independientes

	Potencia	Residencial	Comercial	Industrial	Otros	Consumo Total
<b>Año</b>	0.9919	0.9780	0.9939	0.7961	0.7784	0.9829
<b>PIB</b>	0.9791	0.9400	0.9898	0.8447	0.8344	0.9912
<b>Cientes Totales</b>	0.9782	0.9512	0.9863	0.8582	0.7855	0.9939

Tipo Correlación

☒ Componentes principales ☐ Año ☐ PIB ☐ Cientes ☐ Multivariantes

Coeficientes R2 para regresiones de orden 1 a 5

Coeficientes R2 para regresión de orden 1 al 5, para "PIB"

	Potencia	Residencial	Comercial	Industrial	Otros	Consumo Total
<b>Orden 1</b>	0.9791	0.9400	0.9898	0.8447	0.8344	0.9912
<b>Orden 2</b>	0.9885	0.9917	0.9927	0.9047	0.9408	0.9914
<b>Orden 3</b>	0.9893	0.9918	0.9931	0.9647	0.9789	0.9941
<b>Orden 4</b>	0.9904	0.9934	0.9936	0.9656	0.9919	0.9942
<b>Orden 5</b>	0.9945	0.9935	0.9970	0.9852	0.9956	0.9953

Tipo Correlación

☐ Componentes principales ☐ Año ☒ PIB ☐ Cientes ☐ Multivariantes

## 12. Resultados Excel

Los resultados se muestran en la misma carpeta donde creamos la matriz de datos de ingreso.



## **CAPÍTULO IV**

### **APLICACIÓN DEL MODELO A LA ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA ELÉCTRICA DE LA EEQ S.A.**

En el presente capítulo se realiza un levantamiento de escenarios: pesimista, probable y optimista, adoptados por el CONELEC. Una vez planteados los escenarios se presentan las curvas de demanda y se procede a aplicar el modelo propuesto. Finalmente se realiza el análisis y comparación de resultados entre las curvas de demanda del CONELEC y las curvas de demanda del modelamiento matemático propuesto.

#### **4.1 Planteamiento de escenarios**

La determinación del escenario base surge del consenso del planificador, el analista y el organismo representante del país o empresa bajo estudio, de modo tal que se elija aquel que resulte aceptable o más recomendable desde el punto de vista técnico y conocimiento del mercado. [27]

A partir del escenario base se puede realizar un análisis de sensibilidad que consiste en plantear al menos dos escenarios de evolución futura, para las variables exógenas empleadas en la estimación. [27]

En los escenarios se presenta un MM1 y MM2, estos modelos son lineales, el cambio radica en su variable independiente, clientes totales y población de la EEQ S.A, respectivamente.

##### **4.1.1 Escenario 1**

En escenario 1 muestra la estimación de potencia y energía sin tomar en cuenta ninguna variación extra, como la implementación de planes y programas relacionados con la gestión de la demanda eléctrica. Este escenario se basa en premisas macroeconómicas y demográficas probables, a partir de correlaciones entre las variables endógenas y exógenas.

Este escenario muestra las estimaciones de la EEQ S.A., CONELEC y el modelo matemático propuesto con diferentes variables independientes.

##### **4.1.2 Escenario 2**

El escenario 2, muestra las estimaciones realizadas por la EEQ S.A y el modelo matemático, en sus escenarios pesimista, probable y optimista.

Los datos estimados con los que se realiza la simulación de la EEQ S.A, se toma de [8] Pág. 14.

Para el planteamiento de escenario del modelo matemático MM1 se aplica el porcentaje de crecimiento del PIB, establecido por el CONELEC (Tabla 4.1).

El CONELEC en su PME 2012-2022, plantea una tasa de incremento anual en tres escenarios, mayor (optimista), medio (probable) y menor (pesimista).

Escenario	2013-2022
Mayor	4,7%
Medio	3,7%
Menor	2,7%

**Tabla 4.1:** *Tasa de crecimiento promedio anual*  
**Fuente:** CONELEC

Para la estimación del modelo matemático MM2, pesimista y optimista se emplea la variación de  $\pm 2\%$  a los valores a futuro.

El CONELEC no cuenta con estimaciones de los escenarios pesimista y optimista por distribuidora.

### **4.1.3 Escenario 3**

El escenario 3 propone una estimación de energía futura, con los datos de consumo obtenidos del PME CONELEC 2012-2022, para la EEQ S.A., las cargas y ahorro energético a tomar en consideración se describen a continuación:

#### **4.1.3.1 Transporte**

El gobierno nacional impulsa la incorporación de vehículos eléctricos, para transporte liviano y transporte público. [27]

- **Introducción del transporte eléctrico liviano.**

Se prevé la incorporación de 1000 vehículos por año generando un incremento de consumo en la EEQ S.A.

Empresa	Unidad	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
CNEL-BOLIVAR	MWh	42	42	42	42	42	42	42	42
CNEL-EL ORO	MWh	144	144	144	144	144	144	144	144
CNEL-ESMERALDAS	MWh	81	81	81	81	81	81	81	81
CNEL-GUAYAS LOS RÍOS	MWh	210	210	210	210	210	210	210	210
E.E AMBATO	MWh	159	159	159	159	159	159	159	159
E.E AOGUES	MWh	24	24	24	24	24	24	24	24
E.E CENTRO SUR	MWh	225	225	225	225	225	225	225	225
E.E COTOPAXI	MWh	72	72	72	72	72	72	72	72
E.E NORTE	MWh	144	144	144	144	144	144	144	144
E.E QUITO	MWh	645	645	645	645	645	645	645	645
E.E RIOBAMBA	MWh	108	108	108	108	108	108	108	108
E.E SUR	MWh	111	111	111	111	111	111	111	111
ELÉCTRICA DE GUAYAQUIL	MWh	426	426	426	426	426	426	426	426
E.E GALAPÁGOS	MWh								
<b>TOTAL</b>	<b>MWh</b>	<b>3000</b>	<b>3000</b>	<b>3000</b>	<b>3000</b>	<b>3000</b>	<b>3000</b>	<b>3000</b>	<b>3000</b>

**Tabla 4.2:** Consumo eléctrico por introducción de vehículos eléctricos.  
**Fuente:** CONELEC, Plan Maestro de Electrificación, 2013-2022. Cap. 5.

#### ▪ Transporte público

Quito tiene un referente a futuro significativo: el Metro de Quito. También se toma en cuenta la adquisición de nuevas unidades para el Trolebús.

					DEMANDA		
CLIENTE	ACTIVIDAD	NIVEL DE TENSIÓN	DISTRIBUIDORA	AÑO DE INGRESO	MW	MWh	FACTOR DE CARGA
Metro de Quito	Transporte público	AT	E.E QUITO	2014	71	105	16%
Tranvía	Transporte público	AT	E.E. CENTRO SUR	2014	9	53,079	42%
Transporte público	Transporte público	MT	CNEL- EL ORO	2019	5	23,23	53%
Transporte público	Transporte público	MT	CNEL-ESMERALDAS	2015	15	51,69	39%
Transporte público	Transporte público	MT	CNEL- MANABI	2017	10	34,46	39%
Transporte público	Transporte público	MT	CNEL- SUCUMBIOS	2016	5	17,23	39%
Transporte público	Transporte público	MT	Eléctrica de Guayaquil	2018	10	34,46	39%
Transporte público	Transporte público	MT	E.E NORTE	2015	5	17,23	39%
Transporte público	Transporte público	MT	E.E. QUITO	2015	10	34,46	39%

**Tabla 4.3:** Carga de transporte público.  
**Fuente:** CONELEC, Plan Maestro de Electrificación, 2013-2022. Cap. 5.

EMPRESAS	catTAR	UNIDAD	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
CNEL- EL ORO	MT_IND	MWh						17,23	17,23	17,23	18,23
CNEL-ESMERALDAS	MT_IND	MWh		34,46	34,46	34,46	34,46	34,46	34,46	51,69	51,69
E.E CENTRO SUR	AT_IND	MWh	35,41	35,627	35,849	35,85	35,85	35,85	53,079	53,079	53,079
CNEL- MANABÍ	MT_IND	MWh				34,46	34,46	34,46	34,46	34,46	34,46
CNEL- SUCUMBIOS	MT_IND	MWh			17,23	17,23	17,23	17,23	17,23	17,23	17,23
Eléctrica de Guayaquil	MT_IND	MWh					34,46	34,46	34,46	34,46	34,46
E.E NORTE	MT_IND	MWh		17,23	17,23	17,23	17,23	17,23	17,23	17,23	17,23
E.E QUITO	AT_IND	MWh	19,71	19,71	105	105	105	105	105	105	105
E.E QUITO	MT_IND	MWh		34,46	34,46	34,46	34,46	34,46	34,46	34,46	34,46
<b>TOTAL</b>		<b>MWh</b>	<b>55,12</b>	<b>141,49</b>	<b>244,23</b>	<b>278,7</b>	<b>313,1</b>	<b>330,4</b>	<b>347,61</b>	<b>364,839</b>	<b>365,839</b>

**Tabla 4.4:** *Demanda de transporte público.*

**Fuente:** CONELEC, *Plan Maestro de Electrificación, 2013-2022. Cap. 5.*

#### **4.1.3.2 Programas de Eficiencia Energética**

En la constitución de la República del Ecuador, se asume el compromiso de impulsar e implementar una serie de medidas para mejorar el aprovechamiento de los recursos energéticos.

Los programas de eficiencia energética se detallan a continuación:

- Sustitución de Refrigeradores,
- Sustitución de luminarias de alumbrado público,
- Eficiencia energética en la actividad industrial,
- Eficiencia energética en edificios públicos.

##### **4.1.3.2.1 Sustitución de refrigeradores**

El ministerio de Electricidad y Energía Renovable en conjunto con el Ministerio de Industrias y Productividad, prevén la sustitución de 330.000 refrigeradores distribuidas dentro de las 20 distribuidoras a nivel nacional.

Los beneficiarios de este programa de eficiencia energética, son los usuarios que pertenecen al sector residencial y poseen un consumo de hasta 200 kWh/mes. [27]

EMPRESA	UNIDAD	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
CNEL-BOLIVAR	MWh	-98	-294	-588	-932	-1,471	-1,47	-1,47	-1,471	-1,471	-1,471	-1,471
CNEL-EL ORO	MWh	-1,327	-3,045	-6,792	-12,02	-16,4	-16,4	-16,4	-16,4	-16,395	-16,395	-16,4
CNEL-ESMERALDAS	MWh	-703	-1,796	-3,513	-6,09	-8,588	-8,59	-8,59	-8,588	-8,588	-8,588	-8,588
CNEL-GUAYAS LOS RÍOS	MWh	-1,64	-4,372	-9,447	-14,99	-20,3	-20,3	-20,3	-20,3	-20,299	-20,299	-20,3
CNEL- LOS RÍOS	MWh	-625	-1,718	-3,279	-5,543	-7,807	-7,81	-7,81	-7,807	-7,807	-7,807	-7,807
CNEL- MANABÍ	MWh	-1,561	-3,904	-8,588	-13,66	-18,74	-18,7	-18,7	-18,74	-18,737	-18,737	-18,74
CNEL- MILAGRO	MWh	-859	-2,264	-4,216	-7,183	-10,15	-10,1	-10,1	-10,15	-10,149	-10,149	-10,15
CNEL-STA. ELENA	MWh	-625	-1,718	-3,279	-5,543	-7,807	-7,81	-7,81	-7,807	-7,807	-7,807	-7,807
CNEL-STO.DOMINGO	MWh	-937	-2,654	-4,997	-8,51	-11,71	-11,7	-11,7	-11,71	-11,711	-11,711	-11,71
CNEL-SUCUMBIOS	MWh	-312	-859	-1,64	-2,567	-3,904	-3,9	-3,9	-3,904	-3,904	-3,904	-3,904
E.E. AMBATO	MWh	-588	-1,569	-2,942	-4,854	-6,864	-6,86	-6,86	-6,864	-6,864	-6,864	-6,864
E.E. AZOGUES	MWh	-98	-245	-441	-686	-981	-981	-981	-981	-981	-981	-981
E.E.CENTRO SUR	MWh	-834	-1,912	-4,266	-7,551	-10,3	-10,3	-10,3	-10,3	-10,297	-10,297	-10,3
E.E.COTOPAXI	MWh	-294	-785	-1,471	-2,305	-3,432	-3,43	-3,43	-3,432	-3,432	-3,432	-3,432
E.E.NORTE	MWh	-588	-1,569	-2,942	-4,854	-6,864	-6,86	-6,86	-6,864	-6,864	-6,864	-6,864
E.E.QUITO	MWh	-2,403	-5,884	-12,45	-21,48	-28,93	-28,9	-28,9	-28,93	-28,929	-28,929	-28,93
E.E.RIOBAMBA	MWh	-588	-1,569	-2,942	-4,854	-6,864	-6,86	-6,86	-6,864	-6,864	-6,864	-6,864
E.E. SUR	MWh	-392	-1,079	-2,059	-3,481	-4,903	-4,9	-4,9	-4,903	-4,903	-4,903	-4,903
ELÉCTRICA DE GUAYAQUIL	MWh	-3,123	-7,807	-16,4	-27,72	-37,48	-37,5	-37,5	-37,48	-37,475	-37,475	-37,48
E.E. GALÁPAGOS	MWh	-2,342	-2,342	-2,342	-2,342	-2,342	-2,34	-2,34	-2,342	-2,342	-2,342	-2,342
<b>TOTAL</b>	<b>MWh</b>	<b>-19,94</b>	<b>-47,384</b>	<b>-94,59</b>	<b>-157,2</b>	<b>-215,8</b>	<b>-216</b>	<b>-216</b>	<b>-215,8</b>	<b>-215,82</b>	<b>-215,82</b>	<b>-215,8</b>

**Tabla 4.5:** Ahorro en el consumo sustitución de refrigeradores  
**Fuente:** CONELEC, Plan Maestro de Electrificación, 2013-2022. Cap. 5.

#### 4.1.3.2.2 Sustitución de luminarias de alumbrado publico

El programa de eficiencia energética prevé la sustitución de 305.000 luminarias dentro de las 20 empresas distribuidoras del país, con un plazo de ejecución de 5 años, la inserción de las nuevas lámparas empezó en el 2012.

Las lámparas de uso actual con una potencia de 175 W, serán sustituidas por lámparas eficientes de 100 W cumpliendo las mismas prestaciones que las anteriores, pero con menor consumo.



EMPRESA	UNIDAD	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
CNEL-BOLIVAR	MWh	-950	-1,134	-1,318	-1,502	-1,686	-1,69	-1,69	-1,686	-1,686	-1,686	-1,686
CNEL-EL ORO	MWh	-644	-1809	-2,974	-4,139	-5,304	-5,3	-5,3	-5,304	-5,304	-5,304	-5,304
CNEL-ESMERALDAS	MWh	-2,913	-3,403	-3,894	-4,384	-4,875	-4,88	-4,88	-4,875	-4,875	-4,875	-4,875
CNEL-GUAYAS LOS RÍOS	MWh	-2,606	-3,526	-4,446	-5,366	-6,285	-6,29	-6,29	-6,285	-6,285	-6,285	-6,285
CNEL- LOS RÍOS	MWh	-1,625	-1,901	-2,177	-2,453	-2,729	-2,73	-2,73	-2,729	-2,729	-2,729	-2,729
CNEL- MANABÍ	MWh	-5,58	-7,297	-9,014	-10,73	-12,45	-12,4	-12,4	-12,45	-12,448	-12,448	-12,45
CNEL- MILAGRO	MWh	-736	-1,318	-1,901	-2,483	-3,066	-3,07	-3,07	-3,066	-3,066	-3,066	-3,066
CNEL-STA. ELENA	MWh	-2,208	-2,729	-3,25	-3,771	-4,292	-4,29	-4,29	-4,292	-4,292	-4,292	-4,292
CNEL-STO.DOMINGO	MWh	-1,686	-2,3	-2,913	-3,526	-4,139	-4,14	-4,14	-4,139	-4,139	-4,139	-4,139
CNEL-SUCUMBIOS	MWh	-981	-1,318	-1,656	-1,993	-2,33	-2,33	-2,33	-2,33	-2,33	-2,33	-2,33
E.E. AMBATO	MWh	-950	-1,901	-2,851	-3,802	-3,802	-3,8	-3,8	-3,802	-3,802	-3,802	-3,802
E.E. AZOGUES	MWh	-184	-368	-552	-736	-736	-736	-736	-736	-736	-736	-736
E.E.CENTRO SUR	MWh	-1,441	-2,882	-4,323	-5,764	-5,764	-5,76	-5,76	-5,764	-5,764	-5,764	-5,764
E.E.COTOPAXI	MWh	-521	-1,042	-1,564	-2,085	-2,085	-2,09	-2,09	-2,085	-2,085	-2,085	-2,085
E.E.NORTE	MWh	-1,104	-2,208	-3,311	-4,415	-4,415	-4,42	-4,42	-4,415	-4,415	-4,415	-4,415
E.E.QUITO	MWh	-3,679	-7,358	-11,04	-14,72	-14,72	-14,7	-14,7	-14,72	-14,717	-14,717	-14,72

**Tabla 4.6:** Ahorro en el consumo eléctrico por sustitución de lámparas.  
**Fuente:** CONELEC, Plan Maestro de Electrificación, 2013-2022. Cap. 5.

#### 4.1.3.2.3 Eficiencia energética en la actividad industrial

Se prevé una reducción de consumo de energía eléctrica en medianas y grandes industrias a partir de mejoras y optimización de los sistemas de gestión

EMPRESA	UNIDAD	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
CNEL-GUAYAS LOS RÍOS	MWh	-9,18	-18,36	-36,7	-36,7	-36,7	-37	-37	-37	-37,01
CNEL- MANABÍ	MWh	-4,24	-8,475	-17	-17	-17	-17	-17	-17,1	-17,08
E.E.CENTRO SUR	MWh	-4,94	-9,888	-19,8	-19,8	-19,8	-20	-20	-19,9	-19,93
E.E.COTOPAXI	MWh									
E.E.NORTE	MWh									
E.E.QUITO	MWh	-21,2	-42,38	-84,8	-84,8	-84,8	-85	-85	-85,4	-85,4
E.E.RIOBAMBA	MWh									
E.E. SUR	MWh									
ELÉCTRICA DE GUAYAQUIL	MWh	-31,1	-62,15	-124	-124	-124	-125	-125	-125	-125,3
E.E. GALÁPAGOS	MWh									
<b>TOTAL</b>	<b>MWh</b>	<b>-70,6</b>	<b>-141,3</b>	<b>-283</b>	<b>-283</b>	<b>-283</b>	<b>-285</b>	<b>-285</b>	<b>-285</b>	<b>-284,7</b>

**Tabla 4.7:** Ahorro en el consumo eléctrico industrial  
**Fuente:** CONELEC, Plan Maestro de Electrificación, 2013-2022. Cap. 5.

#### 4.1.3.2.4 Eficiencia energética en edificios públicos

Se prevé la reducción del consumo de energía eléctrica en 58 particiones públicas dentro del área de concesión de la EEQ S.A.

EMPRESA	UNIDAD	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
E.E.QUITO	MWh	-2,86	-2,863	-2,86	-2,86	-2,86	-2,9	-2,9	-2,86	-2,863
<b>TOTAL</b>	<b>MWh</b>	<b>-2,86</b>	<b>-2,863</b>	<b>-2,86</b>	<b>-2,86</b>	<b>-2,86</b>	<b>-2,9</b>	<b>-2,9</b>	<b>-2,86</b>	<b>-2,863</b>

**Tabla 4.8:** Ahorro en el consumo eléctrico de edificios públicos.  
Fuente: CONELEC, Plan Maestro de Electrificación, 2013-2022. Cap. 5.

#### 4.1.3.3 Programa de cocción eficiente

		MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW
EMPRESA	CatTar	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
CNEL-BOLIVAR	BT_RES	840	9,84	48,84	54,978	61,356	67,876	69,465	71,006
CNEL-EL ORO	BT_RES	960	29,52	134,4	169,864	207,292	246,602	253,31	259,911
CNEL-ESMERALDAS	BT_RES	720	16,92	111,48	126,286	142,02	158,602	163,927	169,245
CNEL- GUAYAS LOS RIOS	BT_RES	720	42,24	279,84	318,336	359,368	402,824	417,906	432,888
CNEL- LOS RIOS	BT_RES		6,24	98,4	108,406	119,006	130,002	134,505	138,914
CNEL- MANABÍ	BT_RES		9,84	271,44	312,227	355,094	400,247	412,609	424,929
CNEL- MILAGRO	BT_RES		8,16	118,2	133,243	149,074	165,792	170,787	175,715
CNEL-STA.ELENA	BT_RES	720	12,24	112,92	125,306	138,538	152,707	159,456	166,326
CNEL. STO DOMINGO	BT_RES		9,6	134,52	156,353	179,785	204,371	212,225	220,061
CNEL- SUCUMBIOS	BT_RES		6,24	84	92,231	100,973	110,36	116,397	122,644
E.E. AMBATO	BT_RES	50,28	153,6	210,72	225,343	240,625	256,57	263,311	269,874
E.E. AZOGUEZ	BT_RES	5,28	23,04	32,16	32,968	33,836	34,715	35,088	35,419
E.E CENTRO SUR	BT_RES	72	150	306,24	328,552	351,882	376,511	386,694	396,805
E.E.COTOPAXI	BT_RES	29,4	89,04	91,08	102,181	113,872	125,836	128,399	130,852
E.E.NORTE	BT_RES	10,08	92,76	201,24	212,368	223,86	235,511	251,454	256,329
E.E.QUITO	BT_RES	74,52	300	577,2	724,337	878,674	1.040.736	1.068.486	1095,511
E.E.RIOBAMBA	BT_RES	15,6	67,68	138	148,897	160,159	171,758	175,087	178,273
E.E. SUR	BT_RES	18,96	89,04	152,28	166,057	179,276	192,888	196,658	200,203
ELÉCTRICA DE GUAYAQUIL	BT_RES	79,92	324	497,04	554,972	614,779	676,44	688,94	700,858
E.E. GALÁPAGOS	BT_RES	1,646	4,731	8,229	9,016	9,948	10,8	11,28	11,76
<b>TOTAL S.N.I</b>		<b>360</b>	<b>1.440.000</b>	<b>3.600.000</b>	<b>4.092.905</b>	<b>4.609.467</b>	<b>5.150.348</b>	<b>5.304.704</b>	<b>5.445.763</b>
<b>TOTAL NACIONAL</b>		<b>361,646</b>	<b>1.444.731</b>	<b>3.608.229</b>	<b>4.101.921</b>	<b>4.619.415</b>	<b>5.161.148</b>	<b>5.315.984</b>	<b>5.457.523</b>

**Tabla 4.9:** Consumo eléctrico por cocinas eléctricas  
Fuente: CONELEC, Plan Maestro de Electrificación, 2013-2022. Cap. 5.

El plan de migración de consumo de gas GLP a consumo de electricidad, inicio en el 2015, para lo cual las empresas eléctricas deben tener la infraestructura adecuada para poder suministrar este servicio con el incremento de carga correspondiente.

#### 4.1.3.4 Calentamiento de agua

Se prevé la instalación de 10.905 equipos de calentamiento de agua para la región Sierra, los cuales aumentaran de demanda de energía eléctrica.

EMPRESA	UNIDAD	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
CNEL-BOLIVAR	MWh	77	77	77	77	77	77	77	77	77
E.E. AMBATO	MWh	482	482	482	482	482	482	482	482	482
E.E. AZOGUEZ	MWh	55	55	55	55	55	55	55	55	55
E.E. CENTRO SUR	MWh	750	750	750	750	750	750	750	750	750
E.E. COTOPAXI	MWh	181	181	181	181	181	181	181	181	181
E.E. NORTE	MWh	463	463	463	463	463	463	463	463	463
E.E. QUITO	MWh	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4
E.E. RIOBAMBA	MWh	252	252	252	252	252	252	252	252	252
E.E. SUR	MWh	312	312	312	312	312	312	312	312	312
<b>TOTAL</b>	<b>MWh</b>	<b>5,97</b>	<b>5,97</b>	<b>5,97</b>	<b>5,97</b>	<b>5,97</b>	<b>5,97</b>	<b>5,97</b>	<b>5,97</b>	<b>5,97</b>

**Tabla 4.10:** Consumo eléctrico por calentamiento de agua.

**Fuente:** CONELEC, Plan Maestro de Electrificación, 2013-2022. Cap. 5.

En la tabla 4.11 se muestra la energía y ahorro energético de la EEQ S.A.

EEQ S.A		
Año	Unidad	Aumento de carga
2013	MWh	-9563
2014	MWh	-20753
2015	MWh	54983
2016	MWh	312246
2017	MWh	589446
2018	MWh	736583
2019	MWh	890315
2020	MWh	1052351
2021	MWh	1080083
2022	MWh	1107108

**Tabla 4.11:** Aumento de carga EEQ S.A

**Fuente:** Autoría propia

## 4.2 Simulación de escenarios y aplicación del modelo

A continuación se presenta los resultados obtenidos por la EEQ S.A., CONELEC y el MM.

La variable independiente que mostro mayor correlación con la variable dependiente, es la población, pero se muestra también una estimación con el PIB, por comparación de resultados.

### 4.2.1 Simulación del escenario 1

La estimación de la demanda se realiza hasta el año 2022, por análisis comparativo con el CONELEC y la EEQ S.A.

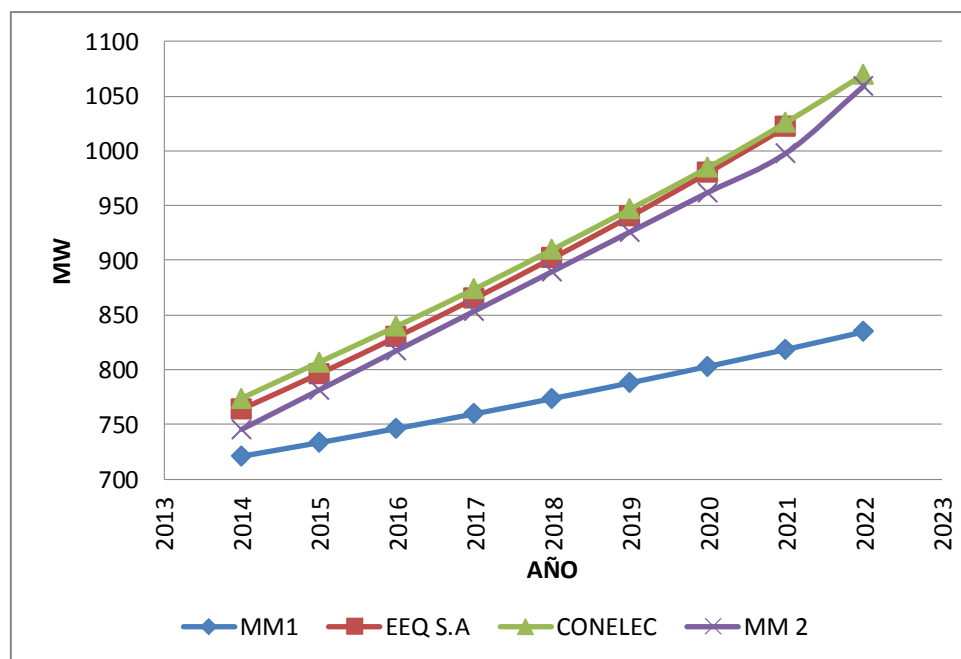
En la tabla 4.12 se encuentran las estimaciones realizadas por la EEQ S.A, CONELEC y el MM. Para la EEQ S.A. se toma su estimación de demanda probable.

En el anexo D se muestra las tablas comparativas para todos los modelos matemáticos analizados.

#### *Estimación de potencia*

POTENCIA				
	MW	MW	MW	MW
AÑO	EEQ S.A	CONELEC	MM1	MM 2
2014	764	774	720,9	745,5
2015	796,4	807	733,4	781,6
2016	830,2	840	746,3	817,7
2017	865,4	874	759,7	853,8
2018	902,1	910	773,6	889,9
2019	940,3	947	788,1	926,1
2020	980,2	985	803	962,2
2021	1021,8	1026	818,5	998
2022		1070	834,6	1059,5

**Tabla 4.12:** *Estimación de potencia*  
**Fuente:** *Autoría propia*

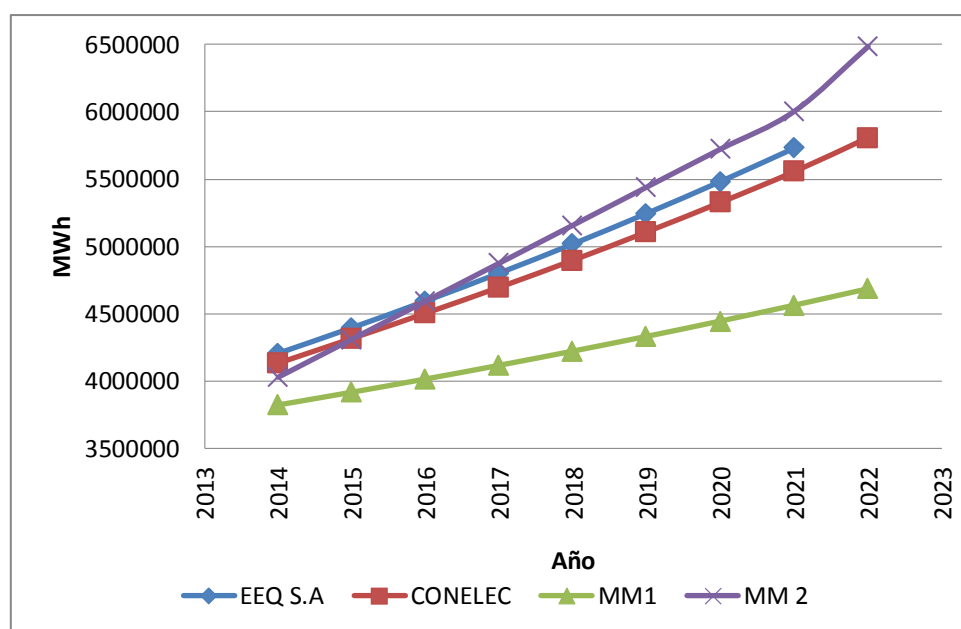


**Figura 4.1:** Estimación de potencia  
Fuente: Autoría propia

### Estimación de energía

ENERGÍA				
	MWh	MWh	MWh	MWh
AÑO	EEQ S.A	CONELEC	MM1	MM 2
2014	4206378	4133000	3822890	4028765
2015	4396298	4317000	3917580	4311173
2016	4594793	4504000	4015774	4593662
2017	4802250	4697000	4117601	4876141
2018	5019074	4898000	4223195	5158449
2019	5245687	5108000	4332696	5441459
2020	5482533	5327000	4446249	5723202
2021	5730071	5556000	4564003	6003542
2022		5808000	4686114	6484619

**Tabla 4.13:** Estimación de energía  
Fuente: Autoría propia



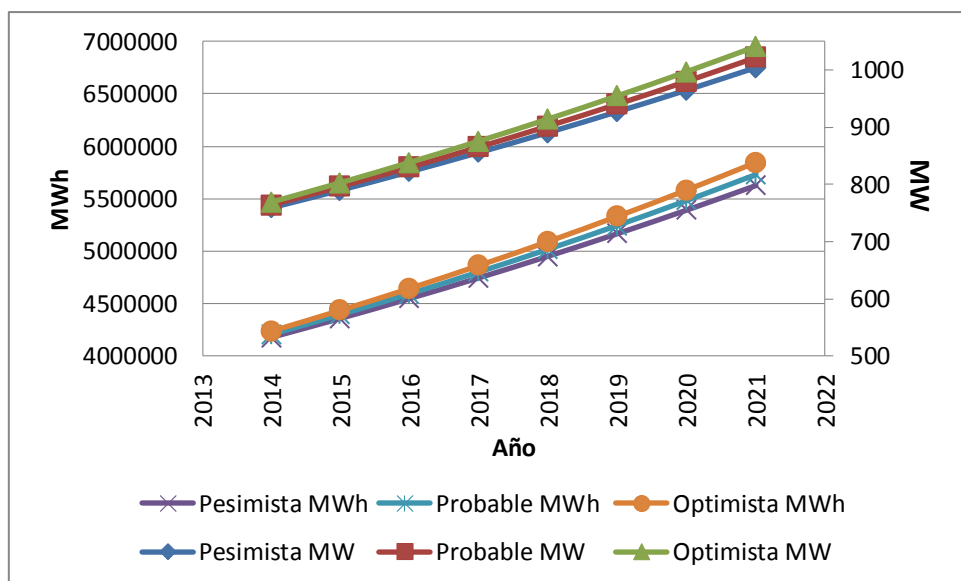
**Figura 4.2:** Estimación de energía  
Fuente: Autoría propia

#### 4.2.2 Simulación del escenario 2

##### Estimación EEQ S.A

AÑO	ESTIMACIÓN EEQ S.A.					
	POTENCIA			ENERGÍA		
	MW	MW	MW	MWh	MWh	MWh
	Pesimista	Probable	Optimista	Pesimista	Probable	Optimista
2014	759,2	764,0	769,2	4178286	4206378	4236990
2015	790,1	796,4	803,2	4359629	4396298	4436326
2016	822,3	830,2	838,7	4548841	4594793	4645041
2017	855,9	865,4	875,8	4746266	4802250	4863576
2018	890,8	902,1	914,5	4952259	5019074	5092391
2019	927,1	940,3	954,9	5167192	5245687	5331972
2020	964,9	980,2	997,1	5391454	5482533	5582824
2021	1004,2	1021,8	1041,1	5625449	5730071	5845478

**Tabla 4.14:** Estimación pesimista, probable y optimista EEQ S.A  
Fuente: Autoría propia

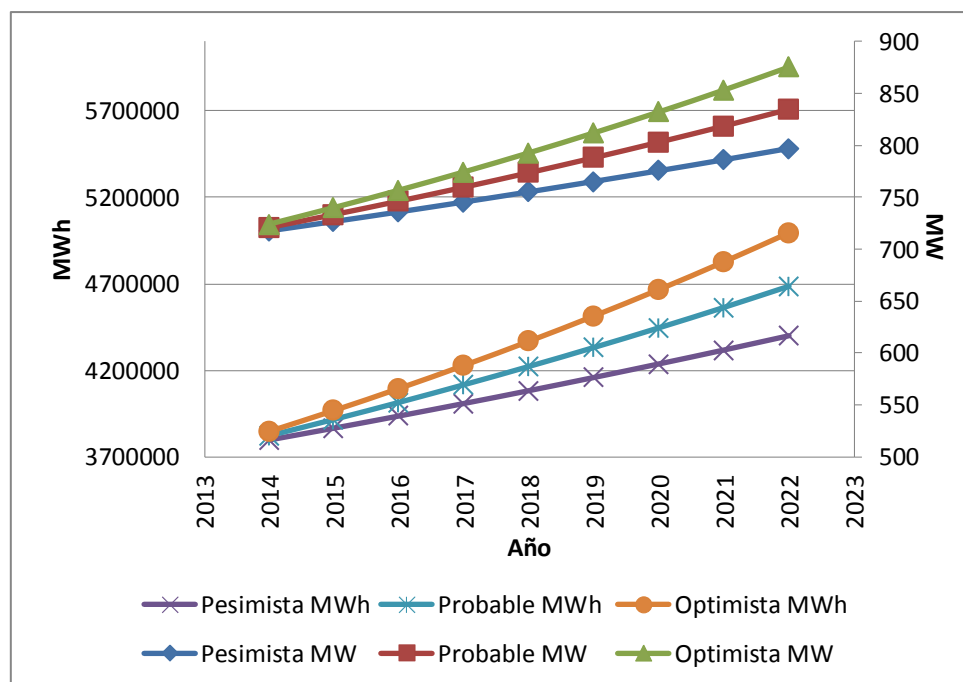


**Figura 4.3:** Estimación pesimista, probable y optimista EEQ S.A  
Fuente: Autoría propia

### Estimación MM1

AÑO	ESTIMACIÓN MM1					
	POTENCIA			ENERGÍA		
	MW	MW	MW	MWh	MWh	MWh
	Pesimista	Probable	Optimista	Pesimista	Probable	Optimista
2014	717,7	720,9	724,2	3798212	3822890	3847569
2015	726,7	733,4	740,2	3866643	3917580	3969011
2016	736	746,3	756,9	3936923	4015774	4096160
2017	745,5	759,8	774,5	4009100	4117601	4229286
2018	755,2	773,7	792,8	4083226	4223195	4368669
2019	765,3	788,1	812,1	4159353	4332696	4514602
2020	775,6	803,1	832,2	4237535	4446249	4667394
2021	786,1	818,6	853,3	4317829	4564003	4827368
2022	797	834,7	875,3	4400290	4686114	4994860

**Tabla 4.15:** Estimación pesimista, probable y optimista MM1  
Fuente: Autoría propia



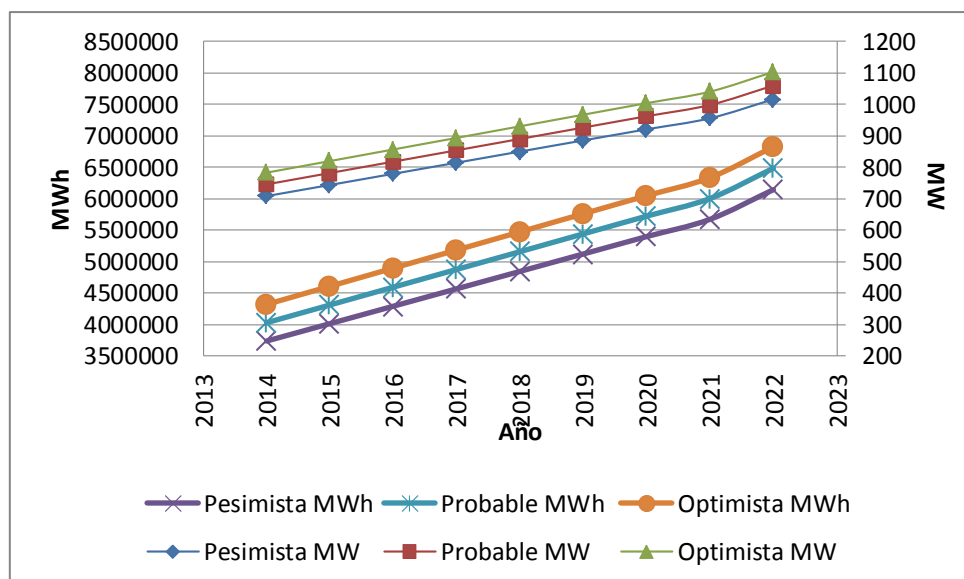
**Figura 4.4:** Estimación pesimista, probable y optimista MM1  
**Fuente:** Autoría propia

### Estimación MM2

AÑO	ESTIMACIÓN MM2.					
	POTENCIA			ENERGÍA		
	MW	MW	MW	MWh	MWh	MWh
	Pesimista	Probable	Optimista	Pesimista	Probable	Optimista
2014	708,2	745,5	782,7	3737486	4028765	4320044
2015	743,6	781,6	819,6	4014246	4311173	4608100
2016	779	817,7	856,4	4291085	4593662	4896239
2017	814,4	853,8	893,2	4567915	4876141	5184367
2018	849,8	889,9	930,1	4844577	5158449	5472322
2019	885,3	926,1	967	5121926	5441459	5760992
2020	920,6	962,2	1003,7	5398034	5723202	6048369
2021	955,7	998	1040,3	5672767	6003542	6334316
2022	1016	1059,5	1103,1	6144223	6484619	6825015

**Tabla 4.16:** Estimación pesimista, probable y optimista MM2  
**Fuente:** Autoría propia





**Figura 4.5:** Estimación pesimista, probable y optimista MM2

Fuente: Autoría propia

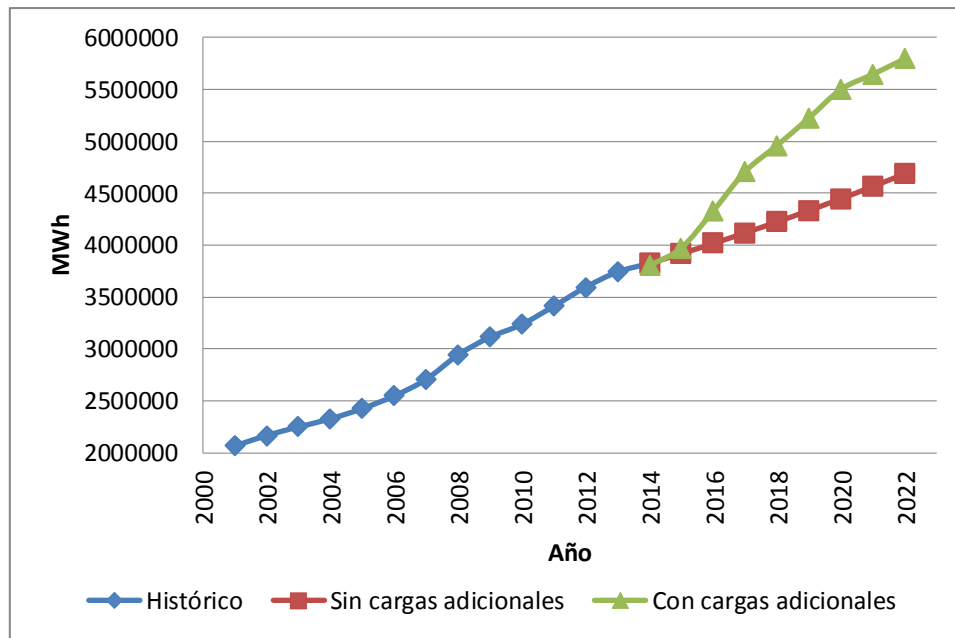
### 4.2.3 Simulación de escenario 3

En el escenario 3 se simula el incremento de cargas y eficiencia energética en los próximos 7 años.

UNIDAD	Cargas adicionales y eficiencia energética								
	Consumos Eléctricos					Eficiencia Energética			
	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh
Año	V. livianos	Metro Quito	T. público	Cocinas	C. Agua	Refrigeradores	Lámparas	Industrial	E. públicos
2013						-5.884	-3.679		
2014		19.710			3400	-12.454	-7.358	-21.188	-2.863
2015	645	19.710	34.460	74.520	3400	-21.476	-11.038	-42.375	-2.863
2016	645	105.000	34.460	300.000	3400	-28.929	-14.717	-84.750	-2.863
2017	645	105.000	34.460	577.200	3400	-28.929	-14.717	-84.750	-2.863
2018	645	105.000	34.460	724.337	3400	-28.929	-14.717	-84.750	-2.863
2019	645	105.000	34.460	878.674	3400	-28.929	-14.717	-85.355	-2.863
2020	645	105.000	34.460	1.040.736	3400	-28.929	-14.717	-85.381	-2.863
2021	645	105.000	34.460	1.068.486	3400	-28.929	-14.717	-85.399	-2.863
2022	645	105.000	34.460	1.095.511	3400	-28.929	-14.717	-85.399	-2.863

**Tabla 4.17:** Cargas adicionales y eficiencia energética EEQ S.A

Fuente: Autoría propia



**Figura 4.6:** Simulación escenario 3  
Fuente: Autoría propia

### 4.3 Análisis de resultados

Para el análisis de resultados, se realiza la comparación con las estimaciones de la EEQ S.A, se toma como referencia a dicha empresa, porque la investigación se centra en los datos históricos de la misma.

#### 4.3.1 Escenario 1

La Tabla 4.18 muestra cada una de las estimaciones: EEQ S.A, CONELEC, MM1, MM2, y el porcentaje de diferencia con respecto a la estimación de la EEQ S.A. Este se debe a varios factores que intervienen en la estimación de la demanda de energía eléctrica. Los posibles errores se describen a continuación:

- Datos históricos diferentes, no se tiene la certeza que los datos históricos con los cuales se realiza las estimaciones sean los mismos.
- Variables independientes, el uso de variables es a criterio del analista.
- Modelo o método de estimación, el modelo varía de acuerdo a las variables endógenas y exógenas.

- Estimación de variables independientes, hace referencia a los datos futuros de las variables a utilizar, para estimar la variable dependiente a futuro, se necesita que la variable independiente este estimada en el mismo periodo. Ocasionando desde un inicio un porcentaje de error en la estimación.

POTENCIA					DIFERENCIA		
	MW	MW	MW	MW	%	%	%
AÑO	EEQ S.A	CONELEC	MM1	MM 2	CONELEC	MM1	MM 2
2014	764	774	720,9	745,5	1,29%	5,97%	2,48%
2015	796,4	807	733,4	781,6	1,31%	8,59%	1,89%
2016	830,2	840	746,3	817,7	1,17%	11,23%	1,52%
2017	865,4	874	759,8	853,8	0,98%	13,90%	1,35%
2018	902,1	910	773,7	889,9	0,87%	16,60%	1,36%
2019	940,3	947	788,1	926,1	0,71%	19,31%	1,53%
2020	980,2	985	803,1	962,2	0,49%	22,06%	1,87%
2021	1021,8	1026	818,6	998	0,41%	24,83%	2,38%
2022		1070	834,7	1059,5			
%DIFERENCIA					<b>0,90%</b>	<b>15,31%</b>	<b>1,80%</b>

**Tabla 4.18:** Diferencia entre estimaciones de potencia  
Fuente: Autoría propia

ENERGÍA					Diferencia		
	MWh	MWh	MWh	MWh	%	%	%
AÑO	EEQ S.A	CONELEC	MM1	MM 2	CONELEC	MM1	MM 2
2014	4206378	4133000	3822890,8	4028765,22	1,78%	10,03%	4,41%
2015	4396298	4317000	3917580,8	4311173,87	1,84%	12,22%	1,97%
2016	4594793	4504000	4015774,3	4593662,65	2,02%	14,42%	0,02%
2017	4802250	4697000	4117601,0	4876141,42	2,24%	16,63%	1,52%
2018	5019074	4898000	4223195,3	5158449,9	2,47%	18,85%	2,70%
2019	5245687	5108000	4332696,6	5441459,56	2,70%	21,07%	3,60%
2020	5482533	5327000	4446249,4	5723202,09	2,92%	23,31%	4,21%
2021	5730071	5556000	4564003,7	6003542,28	3,13%	25,55%	4,56%
2022		5808000	4686114,9	6484619,13			
% DIFERENCIA					<b>2,39%</b>	<b>17,76%</b>	<b>2,87%</b>

**Tabla 4.19:** Diferencia entre estimaciones de energía  
Fuente: Autoría propia

### 4.3.2 Escenario 2

En la Tabla 4.18 y 4.19 se muestra los porcentajes de diferencia del MM1 y MM2 respectivamente con respecto a la EEQ S.A, los diferencias de estimación se originan por los factores descritos en el análisis del escenario 1 y además por:

- Porcentajes de crecimiento de variables independientes, para realizar los escenarios pesimista y optimista, se plantean escenarios alternativos para las variables independientes utilizadas, esto se conoce como sensibilidad de la estimación. El método consiste en plantear al menos dos escenarios de evolución futura para los impulsores de la demanda utilizados.

POCENTAJE DE DIFERENCIA ESTIMACIÓN MM1 RESPECTO A LA EEQ S.A.					
POTENCIA			ENERGÍA		
Pesimista	Probable	Optimista	Pesimista	Probable	Optimista
5,78%	5,97%	6,22%	10,01%	10,03%	10,12%
8,72%	8,59%	8,51%	12,75%	12,22%	11,77%
11,73%	11,23%	10,80%	15,54%	14,42%	13,40%
14,81%	13,90%	13,08%	18,39%	16,63%	15,00%
17,95%	16,60%	15,34%	21,28%	18,85%	16,57%
21,15%	19,31%	17,59%	24,23%	21,07%	18,11%
24,41%	22,06%	19,82%	27,23%	23,31%	19,61%
27,74%	24,83%	22,01%	30,28%	25,55%	21,09%
<b>%DIFERENCIA 16,54%</b>	<b>15,31%</b>	<b>14,17%</b>	<b>19,96%</b>	<b>17,76%</b>	<b>15,71%</b>

**Tabla 4.20:** Diferencia MM1

**Fuente:** Autoría propia

PORCENTAJE DE DIFERENCIA ESTIMACIÓN MM2 RESPECTO A LA EEQ S.A.					
POTENCIA			ENERGÍA		
Pesimista	Probable	Optimista	Pesimista	Probable	Optimista
7,19%	2,48%	1,73%	11,79%	4,41%	1,92%
6,25%	1,89%	2,00%	8,60%	1,97%	3,73%
5,55%	1,52%	2,07%	6,01%	0,02%	5,13%
5,09%	1,35%	1,96%	3,90%	1,52%	6,19%
4,82%	1,36%	1,68%	2,22%	2,70%	6,94%
4,72%	1,53%	1,26%	0,88%	3,60%	7,45%
4,81%	1,87%	0,67%	0,12%	4,21%	7,70%
5,07%	2,38%	0,07%	0,83%	4,56%	7,72%
<b>%DIFERENCIA 5,44%</b>	<b>1,80%</b>	<b>1,43%</b>	<b>4,30%</b>	<b>2,87%</b>	<b>5,85%</b>

**Tabla 4.21:** Diferencia MM2

**Fuente:** Autoría propia

### 4.3.3 Escenario 3

Al no existir una estimación para cargas adicionales y ahorro energético por parte de la EEQ S.A, se deduce que en su estimación al año 2021 tiene una diferencia del 10,08%. El CONELEC ya dispone de esta estimación con la energía adicional, pero a nivel nacional.

Esta estimación es de vital importancia pues hay cargas adicionales y ahorro energético que ingresan desde el año 2013.

	Cargas adicionales y eficiencia energética			
	Estimado	MWh	MWh	%
Año	EEQ S.A	Aumento	Esperado	DIFERENCIA
2013	3741269	-9563	3731706	0,26%
2014	4206378	-20753	4185625	0,49%
2015	4396298	54983	4451281	1,25%
2016	4594793	312246	4907039	6,80%
2017	4802250	589446	5391696	12,27%
2018	5019074	736583	5755657	14,68%
2019	5245687	890315	6136002	16,97%
2020	5482533	1052351	6534884	19,19%
2021	5730071	1080083	6810154	18,85%
% DIFERENCIA				<b>10,08%</b>

**Tabla 4.22:** Diferencia por cargas adicionales y ahorro energético  
Fuente: Autoría propia

## 4.4 Comparación de resultados

### 4.4.1 Comparación de resultados escenario 1

En las Fig. 4.7 y 4.8 se realiza la comparación gráfica de estimaciones de potencia y energía respectivamente, entre: EEQ S.A, CONELEC, MM1 y MM2.

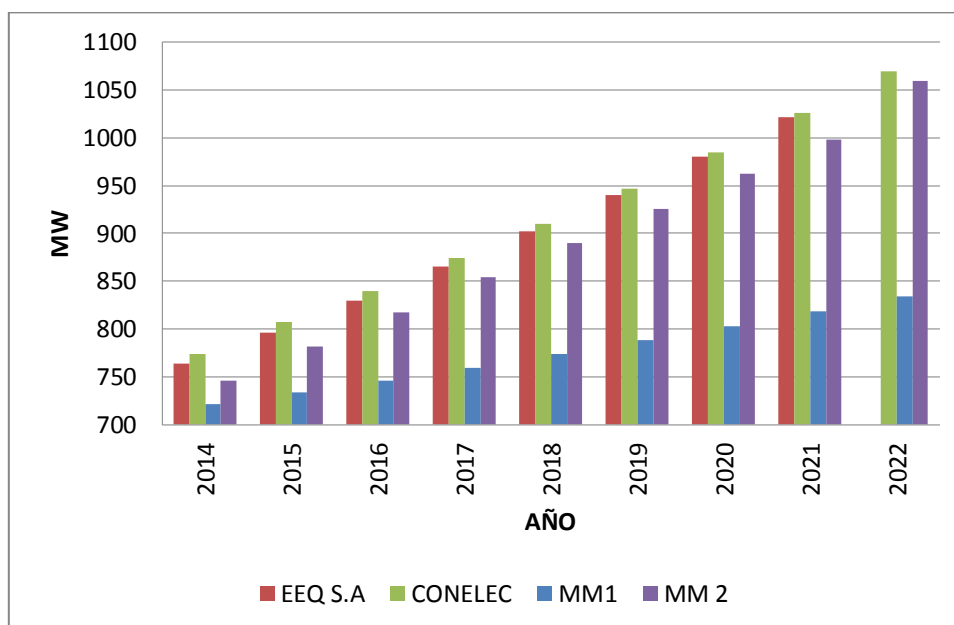
Al realizar las comparaciones se puede apreciar claramente en las gráficas un crecimiento lineal para todas las estimaciones.

Para la EEQ S.A, al realizar un simple análisis matemático se puede apreciar (Tabla. 4.23) su tasa de crecimiento para cada uno de sus escenarios.

Año	% de Crecimiento					
	POTENCIA			ENERGÍA		
	Pesimista	Probable	Optimista	Pesimista	Probable	Optimista
2011	4,080%	4,250%	4,420%	4,340%	4,515%	4,705%
2012	5,287%	4,240%	4,426%	4,340%	4,515%	4,705%
2013	2,877%	4,238%	4,422%	4,340%	4,515%	4,705%
2014	4,086%	4,243%	4,412%	4,340%	4,515%	4,705%
2015	4,070%	4,241%	4,420%	4,340%	4,515%	4,705%
2016	4,075%	4,244%	4,420%	4,340%	4,515%	4,705%
2017	4,086%	4,240%	4,424%	4,340%	4,515%	4,705%
2018	4,078%	4,241%	4,419%	4,340%	4,515%	4,705%
2019	4,075%	4,235%	4,418%	4,340%	4,515%	4,705%
2020	4,077%	4,243%	4,419%	4,340%	4,515%	4,705%
2021	4,073%	4,244%	4,413%	4,340%	4,515%	4,705%

**Tabla 4.23:** % Crecimiento futuro EEQ S.A

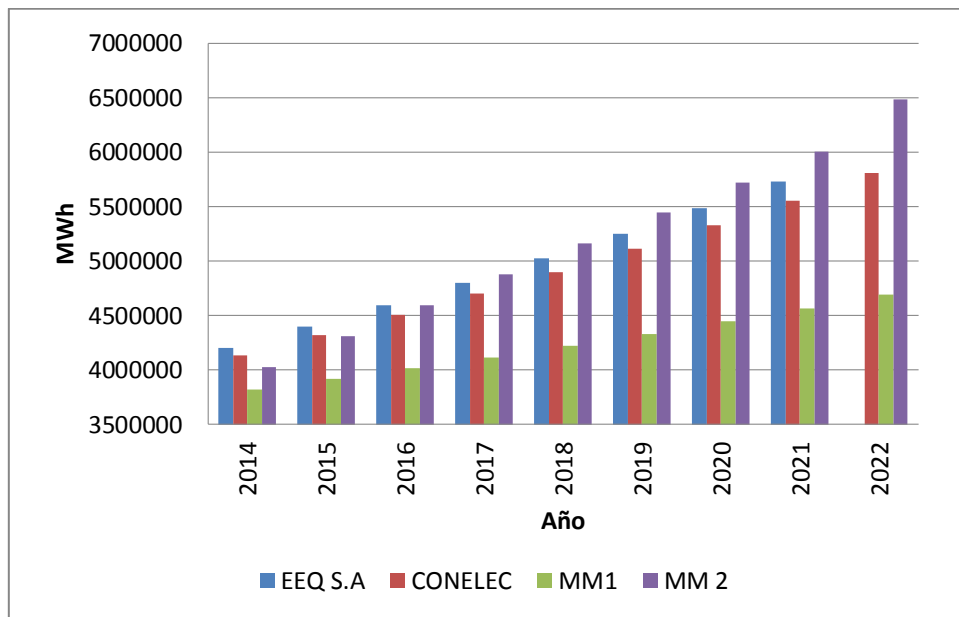
**Fuente:** Autoría propia



**Figura 4.7:** Comparación de estimaciones de potencia máxima

**Fuente:** Autoría propia

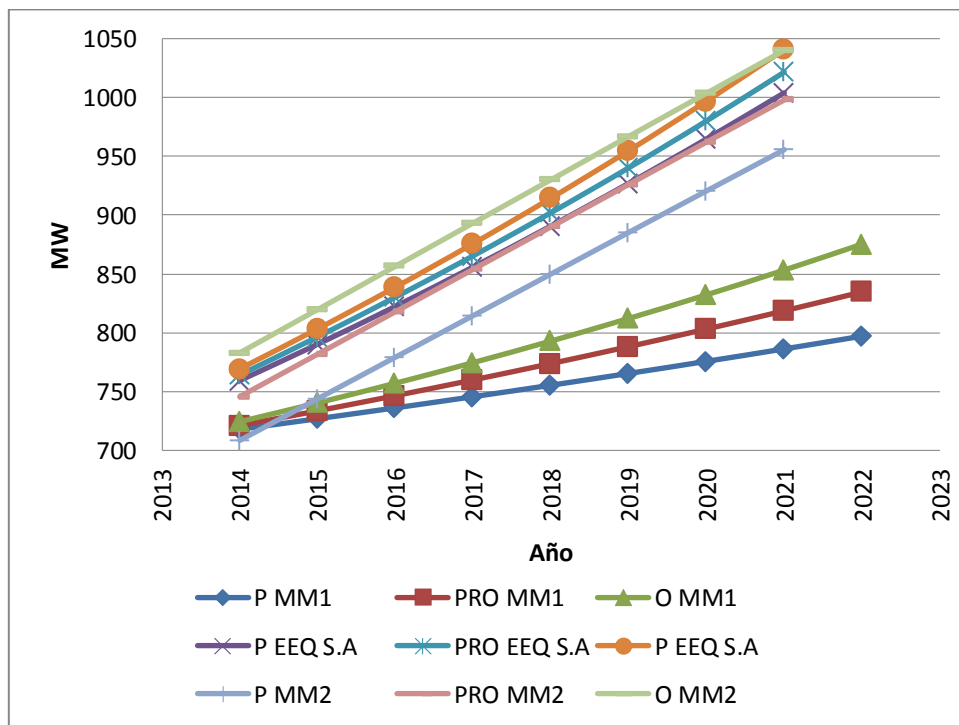
La correlación de la variable dependiente (potencia) y la variable independiente del MM1 (PIB) es de 0,9983 y para la variable independiente del MM2 (Población) es 0,9954, sin embargo se puede apreciar en la Fig. 4.7 que las estimaciones de potencia son diferentes para cada tipo de variable, esto se debe a las incertidumbres de las variables independientes.



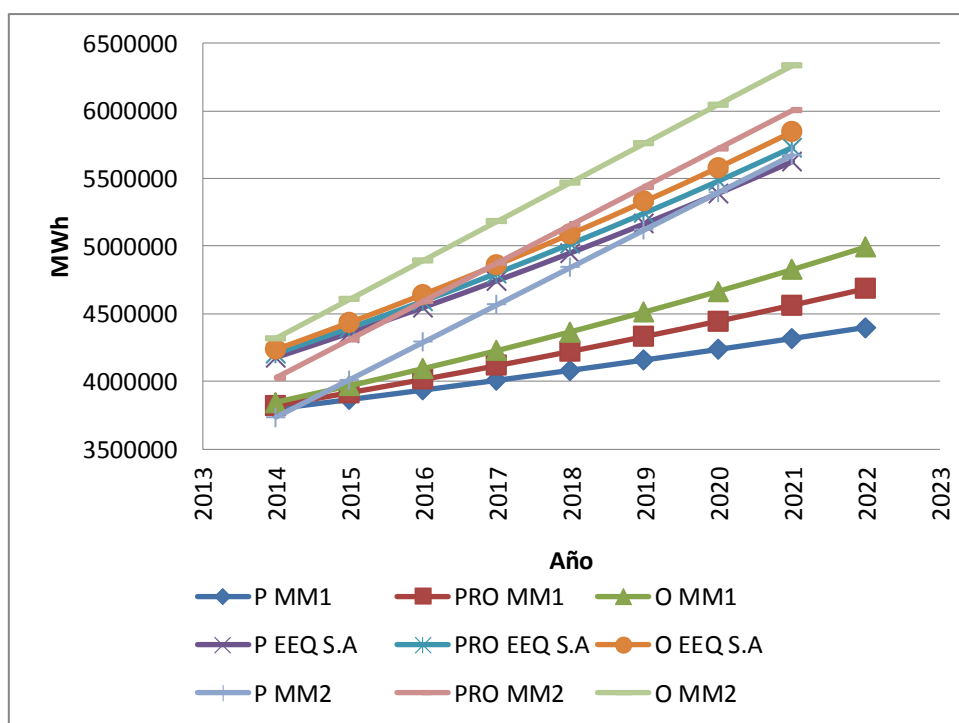
**Figura 4.8:** Comparación de estimaciones de energía  
Fuente: Autoría propia

#### 4.4.2 Comparación de resultados escenario 2

En la Fig. 4.9 y Fig. 4.10 se muestra una comparación gráfica de potencia y energía



**Figura 4.9:** Comparación de potencia pesimista, probable y optimista  
Fuente: Autoría propia



**Figura 4.10:** Comparación de energía pesimista, probable y optimista  
**Fuente:** Autoría propia

#### 4.4.3 Comparación de los resultados escenario 3

No se puede realizar una comparación con la inclusión de cargas nuevas y ahorro energético de EEQ S.A, debido a la falta de estimaciones de dicha empresa y el CONELEC.

La estimación de energía y potencia se realizó a partir de 2014, este año muestra el primer dato estimado, y al contar con un dato real de la EEQ S.A, se realiza una simple comparación entre las estimaciones, obteniendo como resultado la mínima diferencia para el MM1.

Año	Unidad	Dato real	Estimado	Estimado	Estimado	Estimado
		EEQ S.A	EEQ S.A	CONELEC	MM1	MM2
2014	MW	710,83	764,0	774	720,9	745,51
% DIFERENCIA			6,96%	8,16%	1,40%	4,65%

**Tabla 4.24:** Comparación estimaciones-dato real 2014 EEQ S.A  
**Fuente:** Autoría propia



## CONCLUSIONES

1. Al realizar la comparación de estimaciones (EEQ S.A, CONELEC, MM1 y MM2) y un dato real de la EEQ S.A, para el año 2014 se obtiene la menor diferencia con el modelo MM1 (modelo matemático variable 1).
2. El programa realizado en este trabajo de investigación, tiene un enfoque directo a la EEQ S.A, pero queda a disposición del lector su uso para otras entidades.
3. La ventaja al incorporar escenarios de estimación es incrementar la probabilidad de que la estimación realizada se acerque a la realidad.
4. Al realizar una gráfica porcentaje-año de pérdidas de energía de la EEQ S.A, se observa que el orden de los datos no es el adecuado, pues en teoría las pérdidas del escenario optimista deben ser menores a las del escenario pesimista.
5. El mayor obstáculo en el proceso del modelamiento matemático, fue la carencia total y/o parcial de datos (PIB, población, tarifas, etc.) históricos y/o proyectados por parte de entidades nacionales e internacionales.
6. En el análisis de correlaciones se evidencia que el modelo lineal y modelo multivariable tienen similar poder explicativo para la variable en estudio (demanda), pero diferente número de variables independientes. En el presente trabajo se elige el modelo que tiene menor número de variables independientes.
7. En la simulación de ingreso de nuevas cargas al sistema eléctrico de la EEQ S.A, desde el año 2013 se evidencia decrementos e incrementos fuera del comportamiento tendencial (2001-2011).
8. Al no poseer una licencia pagada del programa usado para el modelo computacional, se incluye en el manual del usuario los pasos de apertura desde el inicio del programa. Se tiene como limitante no poder crear un archivo .exe, que podría ejecutarse en cualquier computador sin la necesidad de tener instalado el software usado en el modelo computacional.

## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda realizar la comparación de estimaciones con una cantidad mayor de datos reales, para conocer qué tan acertado es el modelo presentado.
2. Se recomienda leer el manual del usuario antes de usar el programa para otras entidades.
3. Para el planteamiento de escenarios de estimación pesimista y optimista se recomienda usar la fluctuación de la variable explicativa. Se recomienda buscar el porcentaje de variación en fuentes oficiales de la variable aplicada.
4. Se recomienda a la EEQ S.A realizar gráficas para cada una de sus tablas mostradas en su plan de expansión 2011, de esta manera podemos apreciar mejor los posibles errores de digitación.
5. Se recomienda al INEC, BCE y EEQ S.A, disponer en sus fuentes oficiales, reportes informativos y actualizados, de la información que cada entidad administra.
6. Se recomienda usar los métodos que describen a la variable dependiente con una sola variable independiente, pues el error de estimación de cada variable independiente afecta en la estimación de nuestra variable dependiente.
7. Se recomienda a la EEQ S.A realizar el análisis de cargas y eficiencia energética que está ingresando a su sistema eléctrico desde el año 2013
8. Se recomienda modelar desde un software matemático gratuito, o a su vez adquirir una licencia pagada del software computacional.

## REFERENCIAS

- [1] J. Wang and S. Wang, Eds., Business Intelligence in Economic Forecasting. IGI Global, 2010.
- [2] R. Ortiz Flórez and E. Machado Hernández, Pequeñas centrales hidroeléctricas. Bogotá: McGraw-Hill Interamericana, 2001.
- [3] CONELEC, “Boletín Año 2011,” 2011.
- [4] C. M. Gonzales, “Predicción de la demanda eléctrica horaria mediante redes neuronales artificiales.”
- [5] R. C. Dugan, M. F. McGranaghan, S. Santoso, and H. W. Beaty, Electrical power systems quality. 2012.
- [6] CONELEC, Plan Maestro de Electrificación. 2012.
- [7] D. de E. de D. E. S.A., Normas para los sistemas de distribución. 2009.
- [8] E. D. Técnico, Plan de Expansión 2011-2021 del Sistema Eléctrico de la EEQ. 2011.
- [9] RAMIREZ, Samuel. Redes de Distribución de Energía. 3ed. Manizales: Universidad Nacional de Colombia, 2009.
- [10] GONEN, Turan. Electric Power Distribution System Engineering. McGraw-Hill, 1986.
- [11] BOWERMAN, Bruce; O’CONNELL, Richard y KOEH, Anne. Pronósticos, series de tiempo y regresión: un enfoque aplicado. 4 ed. México: Internacional Thomson Editores, 2007.
- [12] HANKE, John y REITSCH, Arthur. Pronósticos en los negocios. 5 ed. México: Pearson Educación (Traducción), 2000.
- [13] MAKRIDAKIS, Spyros; WHEELWRIGHT, Steven. "Manual de Técnicas de Pronosticos", Editorial Limusa, S.A., México 1991.
- [14] SASTRE, María; ROMERO, Andrei. "Metodología de Pronóstico de Demanda Global y Desagregada por Subestaciones", CODENSA S.A. E.S.P., Bogotá.
- [15] Doucet & Sloop (1992): “Mathematical Modeling in the Life Sciences”, Ellis Horwood.
- [16] Giordano, Weir & Fox (1997) “ A First Course In Mathematical Modeling”, Brooks7Colw.

- [17] Poner al del 2.4CONELEC, "Boletín Año 2011," 2011.
- [18] C. M. Gonzales, "Predicción de la demanda eléctrica horaria mediante redes neuronales artificiales."
- [19] Pareja, Ignacio Velez. "El Método Delphi." (2002).
- [20] Rodríguez, Jon Landeta. El método Delphi: una técnica de previsión para la incertidumbre. Ariel, 1999.
- [21] DFontela Montes, Emilio, and José Manuel Rueda Cantuche. "Modelos Input-Output y análisis probabilístico de impacto cruzado mediante escenarios." (2005).
- [22] Botero Botero, Sergio, and Jovan Alfonso Cano Cano. "Análisis de series de tiempo para la predicción de los precios de la energía en la bolsa de Colombia." Cuadernos de Economía 27.48 (2008): 173-208.
- [23] ANDERSON, David; SWEENEY, Dennis y WILLIAMS, Thomas. Estadística para administración y economía. 10 ed. México: Cengage Learning Editores S.A. 2008.
- [24] DEL BARRIO, Tomás; CLAR, Miguel y Suriñach, Jordi. Modelo de Regresión Lineal Múltiple: especificación, estimación y contraste. Barcelona: UOC Papers 2002.
- [25] The MathWorks Inc. CONTROL SYSTEM TOOLBOX User's Guide. 1999.
- [26] [www.bancomundial.org/es/country/ecuador](http://www.bancomundial.org/es/country/ecuador)
- [27] PLAN MAESTRO DE ELECTRIFICACIÓN 2013-2022, CONELEC.
- [28] [www.ree.es](http://www.ree.es)
- [29] Velasco Sotomayor, G. ; Wisniewski, P.(2002) Probabilidad y Estadística para Ingeniería y Ciencias. Editorial Thomson.

# ANEXOS

## **ANEXO A**

Carta de pedido para obtención de datos históricos de la Empresa Eléctrica Quito S.A

Quito, 19 de noviembre de 2014

*Sr. Ingeniero*

*Santiago Almeida*

*Presente.*

El motivo de la presente, es para solicitar de manera muy especial su ayuda, para la elaboración de nuestra tesis de grado, dirigida por el Ingeniero Víctor Hugo Orejuela.

Nuestra tesis se compone de varios puntos, uno de ellos es el estudio de la **estimación de la demanda eléctrica de energía y potencia**; para lo cual necesitamos contar con datos históricos que detallo a continuación:

- Consumo de Energía y Potencia por sectores; Residencial, Comercial, Industrial, Alumbrado Público y Otros.
- Consumo de energía y potencia por usos finales en el sector residencial: iluminación, refrigeración, calentamiento de agua, aire acondicionado y otros.
- Consumo de energía y potencia por usos finales en el sector comercial: iluminación, refrigeración, calentamiento de agua, aire acondicionado, fuerza motriz, calor/vapor y otros.
- Consumo de energía y potencia por usos finales en el sector industrial: iluminación, refrigeración, calentamiento de agua, aire acondicionado, fuerza motriz, calor/vapor y otros.

Para la realización del análisis antes descrito necesitaríamos los datos históricos de 20 años atrás.

También sería de mucha ayuda cualquier información adicional referente al tema; el análisis a realizar es directamente enfocado en la EMPRESA ELECTRICA QUITO S.A.

Es por ello le pido de la manera más comedida, nos ayude con los datos antes descritos.

Le agradezco su tiempo y las molestias causadas que pudiera ocasionarle.

Atentamente.

Tashiguano Marco

## TESIS. Solicitud de datos históricos

10 mensajes

**Marco Tashiguano** <marcotashiguano@gmail.com>

19 de noviembre de 2014, 14:3

Para: salmeida@eeq.com.ec

Sr. Ingeniero  
Santiago Almeida

En el archivo adjunto, envié nuestra solicitud de pedido de información.

Por la favorable atención, le anticipo mis agradecimientos.

Saludos Cordiales  
Atentamente  
Marco Tashiguano

---

 **TESIS.docx**  
13K

**PL Almeida, Santiago** <salmeida@eeq.com.ec>

19 de noviembre de 2014, 15:1

Para: Marco Tashiguano <marcotashiguano@gmail.com>

Estimado Marco, después de revisar el detalle de su requerimiento me comprometo a proporcionarle información de: Consumo de energía (kWh) por sectores; Residencial, Comercial, Industrial, Alumbrado Público y Otros, y; la Potencia (kW) total del Sistema.

Esta información le entregaré a mas tardar miércoles de la próxima semana. El resto de la información no la dispongo.

El 19 de noviembre de 2014, 14:31, Marco Tashiguano <marcotashiguano@gmail.com> escribió:

Sr. Ingeniero  
Santiago Almeida

En el archivo adjunto, envié nuestra solicitud de pedido de información.

Por la favorable atención, le anticipo mis agradecimientos.

Saludos Cordiales  
Atentamente  
Marco Tashiguano

--

Atentamente,  
Santiago Almeida H.  
Tel. 2236915, ext. 2523

WEB: [www.eeq.com.ec](http://www.eeq.com.ec)



**ANEXO B**  
Programación MATLAB

```

%UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
%FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
%ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
%AUTOR: MARCO VINICIO TASHIGUANO GUACHAMIN
%MARZO-2015
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                  'gui_Singleton',   gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @ProgramaDemandaMT_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn',  @ProgramaDemandaMT_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn',   [], ...
                  'gui_Callback',    []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end
if nargin
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
function ProgramaDemandaMT_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
handles.output = hObject;
guidata(hObject, handles);
set(handles.resultadosSS, 'Visible', 'off');
set(handles.correlacionPP, 'Visible', 'off');
set(handles.linealPP, 'Visible', 'off');
clear;
clc;
varargout{1} = handles.output;
%-----
% Boton de calcular donde se realiza todo el proceso
function calcular_Callback(hObject, eventdata, handles)
%Se obtiene los vectores con los datos de excel-----
filename = get(handles.ruta, 'String');
num=xlsread(filename);
ano=[];
demanda=[];
residencial=[];
comercial=[];
industrial=[];
otros=[];
total=[];
pib=[];
poblacion=[];
ano=num(:,1);
demanda=num(:,2);
residencial=num(:,3);
comercial=num(:,4);
industrial=num(:,5);
otros=num(:,6);
total=num(:,7);
pib=num(:,8);
poblacion=num(:,9);
global MatrizTotal
MatrizTotal=[ano,demanda,residencial,comercial,industrial,otros,total,pib,poblacion];
guidata(hObject, handles);
%Se inicial el cálculo de correlación. Se obtiene el coeficiente R2 de
%todos contra todos los parámetros-----

resultados=[];

```

```

for i=1:9
    for j=2:9

        p=polyfit(MatrizTotal(:,i),MatrizTotal(:,j),1);
        yfit=polyval(p,MatrizTotal(:,i));
        yresid=MatrizTotal(:,j)-yfit;
        SSresid=sum(yresid.^2);
        SStotal=(length(MatrizTotal(:,j))-1)*var(MatrizTotal(:,j));
        rsq=1-SSresid/SStotal;
        resultadosPP(i,j)=rsq;
    end
end
global correlaciones
resultados=resultadosPP(:,2:9);
set(handles.correlacion,'Data',resultados);
correlaciones=resultados;
%Se escribe en una hoja de excel en la misma carpeta el cuadro resumen de
%correlaciones.
folder = get(handles.intercambio,'String');
filecorrelacion=fullfile(folder,'ProcesoAnalisis.xlsx');
variable={'Demanda','Residencial','Comercial','Industrial','Otros','Total','PIB',
'Población'};
xlswrite(filecorrelacion,variable,'CorrelacionR2','B1:I1');
variable2={'Año','Demanda','Residencial','Comercial','Industrial','Otros','Total'
,'PIB','Población'};
xlswrite(filecorrelacion,variable2,'CorrelacionR2','A2:A10');
xlswrite(filecorrelacion,resultados,'CorrelacionR2','B2:I10');
%Se realiza la media movil a todas las series y se guarda en el mismo
%archivo de EXCEL-----
MatrizTotalMM(1:size(demanda)-2,1)= MatrizTotal(2:size(demanda)-1,1);
for j=2:9
    for i=1:size(demanda)-2;
        MatrizTotalMM(i,j)= mean(MatrizTotal(i:i+2,j));
    end
end
MatrizTotalMM;
filecorrelacion=fullfile(folder,'ProcesoAnalisis.xlsx');
variable1={'Año','Demanda','Residencial','Comercial','Industrial','Otros','Total'
,'PIB','Población'};
xlswrite(filecorrelacion,variable1,'MediaMovil','A1');
xlswrite(filecorrelacion,MatrizTotalMM,'MediaMovil','A2');
% Regresion Lineal contra año, PIB, poblacion de todos los parametros-----
-----
for z=1:1
anoFinal=get(handles.anoFin,'String');
serieAnoFinal=[min(ano):1:str2num(anoFinal)];
for i=1:1
    for j=2:7
        pAno(j-1,1:2)=polyfit(MatrizTotal(:,i),MatrizTotal(:,j),1);
        EstimadoAno(j-1,1:max(size(serieAnoFinal)))=polyval(pAno(j-
1,1:2),serieAnoFinal);
        pAnoMM(j-1,1:2)=polyfit(MatrizTotalMM(:,i),MatrizTotalMM(:,j),1);
        EstimadoAnoMM(j-1,1:max(size(serieAnoFinal)))=polyval(pAnoMM(j-
1,1:2),serieAnoFinal);
    end
end
EstimadoAno=EstimadoAno';
EstimadoAnoMM=EstimadoAnoMM';
clc;
global MatrizMedida MatrizMM AnoFinal EstimadoLinealAno EstimadoLinealAnoMM
coefLinealAno coefLinealAnoMM ecuacionAno ecuacionAnoMM
MatrizMedida=MatrizTotal;
MatrizMM=MatrizTotalMM;

```

```

AnoFinal=serieAnoFinal;
EstimadoLinealAno=EstimadoAno;
EstimadoLinealAnoMM= EstimadoAnoMM;
coefLinealAno=pAno;
coefLinealAnoMM=pAnoMM;
ecuacionAno=pAno;
ecuacionAnoMM=pAnoMM;
for i=8:8
    for j=2:7
        pPib(j-1,1:2)=polyfit(MatrizTotal(:,i),MatrizTotal(:,j),1);
        EstimadoPib(j-1,1:max(size(MatrizTotal)))=polyval(pPib(j-
1,1:2),MatrizTotal(:,i));
        pPibMM(j-1,1:2)=polyfit(MatrizTotalMM(:,i),MatrizTotalMM(:,j),1);
        EstimadoPibMM(j-1,1:max(size(MatrizTotal)))=polyval(pPibMM(j-
1,1:2),MatrizTotal(:,i));

    end
end
EstimadoPib=EstimadoPib';
EstimadoPibMM=EstimadoPibMM';
global EstimadoLinealPib EstimadoLinealPibMM coefLinealPib coefLinealPibMM
ecuacionPib ecuacionPibMM
coefLinealPib=pPib;
coefLinealPibMM=pPibMM;
EstimadoLinealPib=EstimadoPib;
EstimadoLinealPibMM= EstimadoPibMM;
ecuacionPib=pPib;
ecuacionPibMM=pPibMM;
for i=9:9
    for j=2:7
        (j-1,1:2)=polyfit(MatrizTotal(:,i),MatrizTotal(:,j),1);
        EstimadoPob(j-1,1:max(size(MatrizTotal)))=polyval(pPob(j-
1,1:2),MatrizTotal(:,i));
        pPobMM(j-1,1:2)=polyfit(MatrizTotalMM(:,i),MatrizTotalMM(:,j),1);
        EstimadoPobMM(j-1,1:max(size(MatrizTotal)))=polyval(pPobMM(j-
1,1:2),MatrizTotal(:,i));

    end
end
EstimadoPob=EstimadoPob';
EstimadoPobMM=EstimadoPobMM';
global EstimadoLinealPob EstimadoLinealPobMM coefLinealPob coefLinealPobMM
ecuacionPob ecuacionPobMM
coefLinealPob=pPob;
coefLinealPobMM=pPobMM;
EstimadoLinealPob=EstimadoPob;
EstimadoLinealPobMM= EstimadoPobMM;
ecuacionPob=pPob;
ecuacionPobMM=pPobMM;
end
%Programacion no lineal-----
for z=1:1 %Para no lineal de año-----
global correlacionNoLineal
for i=1:1
    for j=2:7
        for k=1:5
            pNoLineal(j-
1,1:k+1,k)=polyfit(MatrizTotal(:,i),MatrizTotal(:,j),k);
            EstimadoNoLineal(j-
1,1:max(size(MatrizTotal)),k)=polyval(pNoLineal(j-1,1:k+1,k),MatrizTotal(:,i));
            yresid=MatrizTotal(:,j)-EstimadoNoLineal(j-
1,1:max(size(MatrizTotal)),k)';
            SSresid=sum(yresid.^2);

```

```

        SStotal=(length(MatrizTotal(:,j))-1)*var(MatrizTotal(:,j));
        rsq=1-SSresid/SStotal;
        correlacionNoLineal(k,j-1)=rsq;

        pNoLinealMM(j-
1,1:k+1,k)=polyfit(MatrizTotalMM(:,i),MatrizTotalMM(:,j),k);
        EstimadoNoLinealMM(j-
1,1:max(size(MatrizTotalMM),k))=polyval(pNoLinealMM(j-
1,1:k+1,k),MatrizTotalMM(:,i));
        yresidMM=MatrizTotalMM(:,j)-EstimadoNoLinealMM(j-
1,1:max(size(MatrizTotalMM),k));
        SSresidMM=sum(yresidMM.^2);
        SStotalMM=(length(MatrizTotalMM(:,j))-1)*var(MatrizTotalMM(:,j));
        rsqMM=1-SSresidMM/SStotalMM;
        correlacionNoLinealMM(k,j-1)=rsqMM;

    end

end

global filAno filAnoMM
for j=1:6
for i=1:5
    if correlacionNoLineal(i,j)>0.98
        filAno (j)=i;
        break;
    end
end
end
for j=1:6
for i=1:5
    if correlacionNoLinealMM(i,j)>0.98
        filAnoMM (j)=i;
        break;
    end
end
end
end
filAno;
filAnoMM;
for i=1:1
    for j=2:7
        pAnoNL(j-1,1:filAno(j-
1)+1)=polyfit(MatrizTotal(:,i),MatrizTotal(:,j),filAno(j-1));
        EstimadoAnoNL(j-1,1:max(size(serieAnoFinal)))=polyval(pAnoNL(j-
1,1:filAno(j-1)+1),serieAnoFinal);
        pAnoNLMM(j-1,1:filAnoMM(j-
1)+1)=polyfit(MatrizTotalMM(:,i),MatrizTotalMM(:,j),filAnoMM(j-1));
        EstimadoAnoNLMM(j-1,1:max(size(serieAnoFinal)))=polyval(pAnoNLMM(j-
1,1:filAnoMM(j-1)+1),serieAnoFinal);

    end

end
EstimadoAnoNL=EstimadoAnoNL';
EstimadoAnoNLMM=EstimadoAnoNLMM';
global EstimadoNoLinealAno ecuacionNoLinealAno EstimadoNoLinealAnoMM
ecuacionNoLinealAnoMM
EstimadoNoLinealAno=EstimadoAnoNL;
ecuacionNoLinealAno=pAnoNL;
EstimadoNoLinealAnoMM=EstimadoAnoNLMM;
ecuacionNoLinealAnoMM=pAnoNLMM;

end
for z=1:1 %Para no lineal de PIB-----
global correlacionNoLinealPib

```

```

for i=8:8
    for j=2:7
        for k=1:5
            pNoLinealPib(j-
1,1:k+1,k)=polyfit(MatrizTotal(:,i),MatrizTotal(:,j),k);
            EstimadoNoLinealPib1(j-
1,1:max(size(MatrizTotal)),k)=polyval(pNoLinealPib(j-
1,1:k+1,k),MatrizTotal(:,i));
            yresidPib=MatrizTotal(:,j)-EstimadoNoLinealPib1(j-
1,1:max(size(MatrizTotal)),k)';
            SSresidPib=sum(yresidPib.^2);
            SStotalPib=(length(MatrizTotal(:,j))-1)*var(MatrizTotal(:,j));
            rsqPib=1-SSresidPib/SStotalPib;
            correlacionNoLinealPib(k,j-1)=rsqPib;

            pNoLinealPibMM(j-
1,1:k+1,k)=polyfit(MatrizTotalMM(:,i),MatrizTotalMM(:,j),k);
            EstimadoNoLinealPibMM1(j-
1,1:max(size(MatrizTotalMM)),k)=polyval(pNoLinealPibMM(j-
1,1:k+1,k),MatrizTotalMM(:,i));
            yresidPibMM=MatrizTotalMM(:,j)-EstimadoNoLinealPibMM1(j-
1,1:max(size(MatrizTotalMM)),k)';
            SSresidPibMM=sum(yresidPibMM.^2);
            SStotalPibMM=(length(MatrizTotalMM(:,j))-
1)*var(MatrizTotalMM(:,j));
            rsqPibMM=1-SSresidPibMM/SStotalPibMM;
            correlacionNoLinealPibMM(k,j-1)=rsqPibMM;

                end
            end
        end
    end
    global filPib filPibMM
    for j=1:6
        for i=1:5
            if correlacionNoLinealPib(i,j)>0.98
                filPib(j)=i;
                break;
            end
        end
    end
    for j=1:6
        for i=1:5
            if correlacionNoLinealPibMM(i,j)>0.98
                filPibMM(j)=i;
                break;
            end
        end
    end
    correlacionNoLinealPib;
    filPib;
    filPibMM;
    for i=8:8
        for j=2:7
            pPibNL(j-1,1:filPib(j-
1)+1)=polyfit(MatrizTotal(:,i),MatrizTotal(:,j),filPib(j-1));
            EstimadoPibNL(j-1,1:max(size(MatrizTotal)))=polyval(pPibNL(j-
1,1:filPib(j-1)+1),MatrizTotal(:,i));
            pPibNLMM(j-1,1:filPibMM(j-
1)+1)=polyfit(MatrizTotalMM(:,i),MatrizTotalMM(:,j),filPibMM(j-1));
            EstimadoPibNLMM(j-1,1:max(size(MatrizTotal)))=polyval(pPibNLMM(j-
1,1:filPibMM(j-1)+1),MatrizTotal(:,i));

                end
            end
        end
    end
end

```

```

end
EstimadoPibNL=EstimadoPibNL';
EstimadoPibNLMM=EstimadoPibNLMM';
global EstimadoNoLinealPib ecuacionNoLinealPib EstimadoNoLinealPibMM
ecuacionNoLinealPibMM
EstimadoNoLinealPib=EstimadoPibNL;
ecuacionNoLinealPib=pPibNL;
EstimadoNoLinealPibMM=EstimadoPibNLMM;
ecuacionNoLinealPibMM=pPibNLMM;
end
for z=1:1 %Para no lineal de POBLACION-----
global correlacionNoLinealPob
for i=9:9
    for j=2:7
        for k=1:5
            pNoLinealPob(j-
1,1:k+1,k)=polyfit(MatrizTotal(:,i),MatrizTotal(:,j),k);
            EstimadoNoLinealPob1(j-
1,1:max(size(MatrizTotal)),k)=polyval(pNoLinealPob(j-
1,1:k+1,k),MatrizTotal(:,i));
            yresidPob=MatrizTotal(:,j)-EstimadoNoLinealPob1(j-
1,1:max(size(MatrizTotal)),k)';
            SSresidPob=sum(yresidPob.^2);
            SStotalPob=(length(MatrizTotal(:,j))-1)*var(MatrizTotal(:,j));
            rsqPob=1-SSresidPob/SStotalPob;
            correlacionNoLinealPob(k,j-1)=rsqPob;

            pNoLinealPobMM(j-
1,1:k+1,k)=polyfit(MatrizTotalMM(:,i),MatrizTotalMM(:,j),k);
            EstimadoNoLinealPobMM1(j-
1,1:max(size(MatrizTotalMM)),k)=polyval(pNoLinealPobMM(j-
1,1:k+1,k),MatrizTotalMM(:,i));
            yresidPobMM=MatrizTotalMM(:,j)-EstimadoNoLinealPobMM1(j-
1,1:max(size(MatrizTotalMM)),k)';
            SSresidPobMM=sum(yresidPobMM.^2);
            SStotalPobMM=(length(MatrizTotalMM(:,j))-
1)*var(MatrizTotalMM(:,j));
            rsqPobMM=1-SSresidPobMM/SStotalPobMM;
            correlacionNoLinealPobMM(k,j-1)=rsqPobMM;

            end
        end
    end
end

global filPob filPobMM

for j=1:6
for i=1:5
    if correlacionNoLinealPob(i,j)>0.98
        filPob (j)=i;
        break;
    end
end
end

for j=1:6
for i=1:5
    if correlacionNoLinealPobMM(i,j)>0.98
        filPobMM (j)=i;
        break;
    end
end
end
end
end

```

```

correlacionNoLinealPob;
filPob;
filPobMM;

for i=9:9
    for j=2:7
        pPobNL(j-1,1:filPob(j-1)+1)=polyfit(MatrizTotal(:,i),MatrizTotal(:,j),filPob(j-1));
        EstimadoPobNL(j-1,1:max(size(MatrizTotal)))=polyval(pPobNL(j-1,1:filPob(j-1)+1),MatrizTotal(:,i));
        pPobNLMM(j-1,1:filPobMM(j-1)+1)=polyfit(MatrizTotalMM(:,i),MatrizTotalMM(:,j),filPobMM(j-1));
        EstimadoPobNLMM(j-1,1:max(size(MatrizTotal)))=polyval(pPobNLMM(j-1,1:filPobMM(j-1)+1),MatrizTotal(:,i));

    end
end
EstimadoPobNL=EstimadoPobNL';
EstimadoPobNLMM=EstimadoPobNLMM';

global EstimadoNoLinealPob ecuacionNoLinealPob EstimadoNoLinealPobMM
ecuacionNoLinealPobMM
EstimadoNoLinealPob=EstimadoPobNL;
ecuacionNoLinealPob=pPobNL;
EstimadoNoLinealPobMM=EstimadoPobNLMM;
ecuacionNoLinealPobMM=pPobNLMM;
end

%Programacion multivariable
global estimadoML mayor coefmultivariable
for z=1:1
    correlacionesNL(1,:)=correlaciones(8,1:6);
    correlacionesNL(2,:)=correlaciones(9,1:6);
    correlacionesNL;

    for i=1:6

        if correlacionesNL(1,i)> correlacionesNL(2,i)
            mayor(i)= 1;
        else
            mayor(i)= 2;
        end
    end
    mayor;
    for i=1:6

        if mayor(i)==1
            temp1=8;
        else
            temp1=9;
        end
        temp1;
        dependientes(:,1)= MatrizTotal(:,1);
        dependientes(:,2)= MatrizTotal(:,temp1);
        dependientes;
        independientes = MatrizTotal(:,i+1);
        independientes;

        coefmultivariable (i,:) = regress(independientes,dependientes);
        estimadoML(:,i)= coefmultivariable (i,1)* MatrizTotal(:,1)+coefmultivariable (i,2)*MatrizTotal(:,temp1);
    end
end

```



```

end
coefmultivariable;
coefmultivariable(1,2);
estimadoML(:,2);

end

for z=1:1

    independientesTotalANOPIB(:,1)= MatrizTotal(:,1);
    independientesTotalANOPIB(:,2)= MatrizTotal(:,8);

    independientesTotalANOPOB(:,1)= MatrizTotal(:,1);
    independientesTotalANOPOB(:,2)= MatrizTotal(:,9);

    independientesTotalPIBPOB(:,1)= MatrizTotal(:,8);
    independientesTotalPIBPOB(:,2)= MatrizTotal(:,9);

    for i=2:7

        coefmultivariableTotal1 (i-1,:) =
        regress(MatrizTotal(:,i),independientesTotalANOPIB);
        coefmultivariableTotal2 (i-1,:) =
        regress(MatrizTotal(:,i),independientesTotalANOPOB);
        coefmultivariableTotal3 (i-1,:) =
        regress(MatrizTotal(:,i),independientesTotalPIBPOB);

%MatrizTotal=[ano,demanda,residencial,comercial,industrial,otros,total,pib,poblacion];
        correlacionesMulti(1,i-1)= 1-(sum((MatrizTotal(:,i)-
        (coefmultivariableTotal1 (i-1,1)* MatrizTotal(:,1)+coefmultivariableTotal1 (i-
        1,2)*MatrizTotal(:,8))).^2))/((length(MatrizTotal(:,i))-
        1)*var(MatrizTotal(:,i)));
        correlacionesMulti(2,i-1)= 1-(sum((MatrizTotal(:,i)-
        (coefmultivariableTotal2 (i-1,1)* MatrizTotal(:,1)+coefmultivariableTotal2 (i-
        1,2)*MatrizTotal(:,9))).^2))/((length(MatrizTotal(:,i))-
        1)*var(MatrizTotal(:,i)));
        correlacionesMulti(3,i-1)= 1-(sum((MatrizTotal(:,i)-
        (coefmultivariableTotal3 (i-1,1)* MatrizTotal(:,8)+coefmultivariableTotal3 (i-
        1,2)*MatrizTotal(:,9))).^2))/((length(MatrizTotal(:,i))-
        1)*var(MatrizTotal(:,i)));

    end

end

%Escritura de resultados en excel
filecorrelacion=fullfile(folder,'ProcesoAnalisis.xlsx');
variable2={'Año','Demanda','Residencial','Comercial','Industrial','Otros','Total'
};
xlswrite(filecorrelacion,variable2,'Estimacion Lineal','A1');
xlswrite(filecorrelacion,serieAnoFinal,'Estimacion Lineal','A2');
xlswrite(filecorrelacion,EstimadoAno,'Estimacion Lineal','B2');

xlswrite(filecorrelacion,variable2,'Estimacion No Lineal','A1');
xlswrite(filecorrelacion,serieAnoFinal,'Estimacion No Lineal','A2');
xlswrite(filecorrelacion,EstimadoAnoNL,'Estimacion No Lineal','B2');

%Programacion final solo para correcta visualizacion-----
set(handles.resultadosSS,'Visible','on');
set(handles.correlacionPP,'Visible','on');
clc;

```

```

set(handles.correlacionAno, 'Data', correlacionNoLineal);
set(handles.CorrelacionPIB, 'Data', correlacionNoLinealPib);

plot(NolinealPibDemanda, MatrizMedida(:,8), EstimadoNoLinealPibMM(1:max(size(MatrizMedida)),1), 'b');
    xlabel(NolinealPibDemanda, 'PIB');
    ylabel(NolinealPibDemanda, 'MW');
    title(NolinealPibDemanda, 'PIB vs Demanda Máxima');
    legend(NolinealPibDemanda, 'Demanda Medida', 'Demanda Suavizada Media Movil', 'Demanda Estimada', 'Demanda Estimada MM', 'Location', 'northwest')
    hold off;
    set(handles.ecuacion, 'String', strcat('Coef
DM=[', num2str(ecuacionNoLinealPib(1,1:filPib(1)+1)), ', ']);
    set(handles.ecuacionMM, 'String', strcat('Coef DM
MM=[', num2str(ecuacionNoLinealPibMM(1,1:filPibMM(1)+1)), ', ']);
end

%-----

    if estadoConsumo6 == 1 & estadoDepel == 1
        %Presentacion de graficas no lineales contra año. Otros
        NolinealAnoTotal=handles.figLineal;
        plot(NolinealAnoTotal, MatrizMedida(:,1), MatrizMedida(:,7), '+k');
        hold on;
        plot(NolinealAnoTotal, MatrizMM(:,1), MatrizMM(:,7), 'og');

    plot(NolinealAnoTotal, AnoFinal, EstimadoNoLinealAno(1:max(size(AnoFinal)),6), 'r');

    plot(NolinealAnoTotal, AnoFinal, EstimadoNoLinealAnoMM(1:max(size(AnoFinal)),6), 'b'
    );
        xlabel(NolinealAnoTotal, 'Año');
        ylabel(NolinealAnoTotal, 'MW-h');
        title(NolinealAnoTotal, 'Año vs Consumo Total');
        legend(NolinealAnoTotal, 'Consumo Medido', 'Consumo Suavizado Media Movil', 'Consumo Estimado', 'Consumo Estimado MM', 'Location', 'northwest')
        hold off;
        set(handles.ecuacion, 'String', strcat('Coef
DM=[', num2str(ecuacionNoLinealAno(6,1:filAno(6)+1)), ', ']);
        set(handles.ecuacionMM, 'String', strcat('Coef DM
MM=[', num2str(ecuacionNoLinealAnoMM(6,1:filAnoMM(6)+1)), ', ']);

        end

        if estadoConsumo5 == 1 & estadoDepel == 1
            %Presentacion de graficas no lineales contra año. Otros
            NolinealAnoOtros=handles.figLineal;
            plot(NolinealAnoOtros, MatrizMedida(:,1), MatrizMedida(:,6), '+k');
            hold on;
            plot(NolinealAnoOtros, MatrizMM(:,1), MatrizMM(:,6), 'og');

        plot(NolinealAnoOtros, AnoFinal, EstimadoNoLinealAno(1:max(size(AnoFinal)),5), 'r');

        plot(NolinealAnoOtros, AnoFinal, EstimadoNoLinealAnoMM(1:max(size(AnoFinal)),5), 'b'
        );
            xlabel(NolinealAnoOtros, 'Año');
            ylabel(NolinealAnoOtros, 'MW-h');
            title(NolinealAnoOtros, 'Año vs Consumo Otros');
            legend(NolinealAnoOtros, 'Consumo Medido', 'Consumo Suavizado Media Movil', 'Consumo Estimado', 'Consumo Estimado MM', 'Location', 'northwest')
            hold off;

```

```

        set(handles.ecuacion, 'String', strcat('Coef
DM=[', num2str(ecuacionNoLinealAno(5,1:filAno(5)+1)), ', '));
        set(handles.ecuacionMM, 'String', strcat('Coef DM
MM=[', num2str(ecuacionNoLinealAnoMM(5,1:filAnoMM(5)+1)), ', '));

end

        if estadoConsumo4 == 1 & estadoDepel == 1
            %Presentacion de graficas no lineales contra año. Industrial
            NolinealAnoIndustrial=handles.figLineal;
            plot(NolinealAnoIndustrial, MatrizMedida(:,1), MatrizMedida(:,5), '+k');
            hold on;
            plot(NolinealAnoIndustrial, MatrizMM(:,1), MatrizMM(:,5), 'og');

            plot(NolinealAnoIndustrial, AnoFinal, EstimadoNoLinealAno(1:max(size(AnoFinal)),4),
                'r');

            plot(NolinealAnoIndustrial, AnoFinal, EstimadoNoLinealAnoMM(1:max(size(AnoFinal)),4),
                'b');
            xlabel(NolinealAnoIndustrial, 'Año');
            ylabel(NolinealAnoIndustrial, 'MW-h');
            title(NolinealAnoIndustrial, 'Año vs Consumo Industrial');
            legend(NolinealAnoIndustrial, 'Consumo Medido', 'Consumo Suavizado Media
Movil', 'Consumo Estimado', 'Consumo Estimado MM', 'Location', 'northwest')
            hold off;
            set(handles.ecuacion, 'String', strcat('Coef
DM=[', num2str(ecuacionNoLinealAno(4,1:filAno(4)+1)), ', '));
            set(handles.ecuacionMM, 'String', strcat('Coef DM
MM=[', num2str(ecuacionNoLinealAnoMM(4,1:filAnoMM(4)+1)), ', '));

end

        if estadoConsumo3 == 1 & estadoDepel == 1
            %Presentacion de graficas no lineales contra año. Comercial
            NolinealAnoComercial=handles.figLineal;
            plot(NolinealAnoComercial, MatrizMedida(:,1), MatrizMedida(:,4), '+k');
            hold on;
            plot(NolinealAnoComercial, MatrizMM(:,1), MatrizMM(:,4), 'og');

            plot(NolinealAnoComercial, AnoFinal, EstimadoNoLinealAno(1:max(size(AnoFinal)),3),
                'r');

            plot(NolinealAnoComercial, AnoFinal, EstimadoNoLinealAnoMM(1:max(size(AnoFinal)),3),
                'b');
            xlabel(NolinealAnoComercial, 'Año');
            ylabel(NolinealAnoComercial, 'MW-h');
            title(NolinealAnoComercial, 'Año vs Consumo Comercial');
            legend(NolinealAnoComercial, 'Consumo Medido', 'Consumo Suavizado Media
Movil', 'Consumo Estimado', 'Consumo Estimado MM', 'Location', 'northwest')
            hold off;
            set(handles.ecuacion, 'String', strcat('Coef
DM=[', num2str(ecuacionNoLinealAno(3,1:filAno(3)+1)), ', '));
            set(handles.ecuacionMM, 'String', strcat('Coef DM
MM=[', num2str(ecuacionNoLinealAnoMM(3,1:filAnoMM(3)+1)), ', '));

end

        if estadoConsumo2 == 1 & estadoDepel == 1
            %Presentacion de graficas no lineales contra año. Residencial
            NolinealAnoResidencial=handles.figLineal;
            plot(NolinealAnoResidencial, MatrizMedida(:,1), MatrizMedida(:,3), '+k');
            hold on;

```

```

plot(NolinealAnoResidencial,MatrizMM(:,1),MatrizMM(:,3), 'og');

set(handles.ecuacionMM, 'String', strcat('Consumo Industrial MM =', num2str(ecuacionPobMM(4,1)), ' + ', num2str(ecuacionPobMM(4,2)), ' población'));
end

if estadoConsumo3 == 1 & estadoDepe3 == 1
    %Presentacion de graficas lineales contra Poblacion. comercial
    linealPobComercial=handles.figLineal;
    plot(linealPobComercial,MatrizMedida(:,9),MatrizMedida(:,4), '+k');
    hold on;
    plot(linealPobComercial,MatrizMM(:,9),MatrizMM(:,4), 'og');

plot(linealPobComercial,MatrizMedida(:,9),EstimadoLinealPob(1:max(size(MatrizMedida)),3), 'r');

plot(linealPobComercial,MatrizMedida(:,9),EstimadoLinealPobMM(1:max(size(MatrizMedida)),3), 'b');
    xlabel(linealPobComercial, 'Población');
    ylabel(linealPobComercial, 'MW-h');
    title(linealPobComercial, 'Población vs Consumo Comercial');
    legend(linealPobComercial, 'Consumo Medido', 'Consumo Suavizado Media Movil', strcat('Consumo Estimado R2=', num2str(correlaciones(9,3))), 'Consumo Estimado MM', 'Location', 'northwest')
    hold off;
    set(handles.ecuacion, 'String', strcat('Consumo Comercial =', num2str(ecuacionPob(3,1)), ' + ', num2str(ecuacionPob(3,2)), ' población'));
    set(handles.ecuacionMM, 'String', strcat('Consumo Comercial MM =', num2str(ecuacionPobMM(3,1)), ' + ', num2str(ecuacionPobMM(3,2)), ' población'));
end

if estadoConsumo2 == 1 & estadoDepe3 == 1
    %Presentacion de graficas lineales contra Poblacion. residencial
    linealPobResidencial=handles.figLineal;
    plot(linealPobResidencial,MatrizMedida(:,9),MatrizMedida(:,3), '+k');
    hold on;
    plot(linealPobResidencial,MatrizMM(:,9),MatrizMM(:,3), 'og');

plot(linealPobResidencial,MatrizMedida(:,9),EstimadoLinealPob(1:max(size(MatrizMedida)),2), 'r');

plot(linealPobResidencial,MatrizMedida(:,9),EstimadoLinealPobMM(1:max(size(MatrizMedida)),2), 'b');
    xlabel(linealPobResidencial, 'Población');
    ylabel(linealPobResidencial, 'MW-h');
    title(linealPobResidencial, 'Población vs Consumo Residencial');
    legend(linealPobResidencial, 'Consumo Medido', 'Consumo Suavizado Media Movil', strcat('Consumo Estimado R2=', num2str(correlaciones(9,2))), 'Consumo Estimado MM', 'Location', 'northwest')
    hold off;
    set(handles.ecuacion, 'String', strcat('Consumo Residencial =', num2str(ecuacionPob(2,1)), ' + ', num2str(ecuacionPob(2,2)), ' población'));
    set(handles.ecuacionMM, 'String', strcat('Consumo Residencial MM =', num2str(ecuacionPobMM(2,1)), ' + ', num2str(ecuacionPobMM(2,2)), ' población'));
end

if estadoConsumo1 == 1 & estadoDepe3 == 1
    %Presentacion de graficas lineales contra Poblacion. demanda
    linealPobDemanda=handles.figLineal;
    plot(linealPobDemanda,MatrizMedida(:,9),MatrizMedida(:,2), '+k');
    hold on;
    plot(linealPobDemanda,MatrizMM(:,9),MatrizMM(:,2), 'og');

```

```

plot(linealPobDemanda,MatrizMedida(:,9),EstimadoLinealPob(1:max(size(MatrizMedida
)),1),'r');

plot(linealPobDemanda,MatrizMedida(:,9),EstimadoLinealPobMM(1:max(size(MatrizMedi
da)),1),'b');
xlabel(linealPobDemanda,'Población');
ylabel(linealPobDemanda,'MW');
title(linealPobDemanda,'Población vs Demanda Máxima');
legend(linealPobDemanda,'Demanda Medida','Demanda Suavizada Media
Movil',strcat('Demanda Estimada R2=',num2str(correlaciones(9,1))), 'Demanda
Estimada MM','Location','northwest')
hold off;
set(handles.ecuacion,'String',strcat('Demanda Máxima =
',num2str(ecuacionPob(1,1)), ' + ',num2str(ecuacionPob(1,2)), ' población'));
set(handles.ecuacionMM,'String',strcat('Demanda Máxima MM =
',num2str(ecuacionPobMM(1,1)), ' + ',num2str(ecuacionPobMM(1,2)), ' población'));
end

if estadoConsumo6 == 1 & estadoDepe2 == 1
    %Presentacion de graficas lineales contra pib. total
    linealPibTotal=handles.figLineal;
    plot(linealPibTotal,MatrizMedida(:,8),MatrizMedida(:,7),'+k');
    hold on;
    plot(linealPibTotal,MatrizMM(:,8),MatrizMM(:,7),'og');

plot(linealPibTotal,MatrizMedida(:,8),EstimadoLinealPib(1:max(size(MatrizMedida))
,6),'r');

plot(linealPibTotal,MatrizMedida(:,8),EstimadoLinealPibMM(1:max(size(MatrizMedida
)),6),'b');
xlabel(linealPibTotal,'PIB');
ylabel(linealPibTotal,'MW-h');
title(linealPibTotal,'PIB vs Consumo Total');
legend(linealPibTotal,'Consumo Medido','Consumo Suavizado Media
Movil',strcat('Consumo Estimado R2=',num2str(correlaciones(8,6))), 'Consumo
Estimado MM','Location','northwest')
hold off;
set(handles.ecuacion,'String',strcat('Consumo Total =
',num2str(ecuacionPib(6,1)), ' + ',num2str(ecuacionPib(6,2)), ' PIB'));
set(handles.ecuacionMM,'String',strcat('Consumo Total MM =
',num2str(ecuacionPibMM(6,1)), ' + ',num2str(ecuacionPibMM(6,2)), ' PIB'));
end

if estadoConsumo5 == 1 & estadoDepe2 == 1
    %Presentacion de graficas lineales contra pib. otros
    linealPibOtros=handles.figLineal;
    plot(linealPibOtros,MatrizMedida(:,8),MatrizMedida(:,6),'+k');
    hold on;
    plot(linealPibOtros,MatrizMM(:,8),MatrizMM(:,6),'og');

plot(linealPibOtros,MatrizMedida(:,8),EstimadoLinealPib(1:max(size(MatrizMedida))
,5),'r');

plot(linealPibOtros,MatrizMedida(:,8),EstimadoLinealPibMM(1:max(size(MatrizMedida
)),5),'b');
xlabel(linealPibOtros,'PIB');
ylabel(linealPibOtros,'MW-h');
title(linealPibOtros,'PIB vs Consumo Otros');
legend(linealPibOtros,'Consumo Medido','Consumo Suavizado Media
Movil',strcat('Consumo Estimado R2=',num2str(correlaciones(8,5))), 'Consumo
Estimado MM','Location','northwest')
hold off;

```

```

        set(handles.ecuacion,'String',strcat('Consumo Otros =
',num2str(ecuacionPib(5,1)), ' + ',num2str(ecuacionPib(5,2)), ' PIB'));
        set(handles.ecuacionMM,'String',strcat('Consumo Otros MM =
',num2str(ecuacionPibMM(5,1)), ' + ',num2str(ecuacionPibMM(5,2)), ' PIB'));
    end

    if estadoConsumo4 == 1 & estadoDepe2 == 1
        %Presentacion de graficas lineales contra pib. industrial
        linealPibIndustrial=handles.figLineal;
        plot(linealPibIndustrial,MatrizMedida(:,8),MatrizMedida(:,5),'+k');
        hold on;
        plot(linealPibIndustrial,MatrizMM(:,8),MatrizMM(:,5),'og');

        plot(linealPibIndustrial,MatrizMedida(:,8),EstimadoLinealPib(1:max(size(MatrizMedida)),4), 'r');

        plot(linealPibIndustrial,MatrizMedida(:,8),EstimadoLinealPibMM(1:max(size(MatrizMedida)),4), 'b');
        xlabel(linealPibIndustrial,'PIB');
        ylabel(linealPibIndustrial,'MW-h');
        title(linealPibIndustrial,'PIB vs Consumo Industrial');
        legend(linealPibIndustrial,'Consumo Medido','Consumo Suavizado Media Movil',strcat('Consumo Estimado R2=',num2str(correlaciones(8,4))), 'Consumo Estimado MM','Location','northwest')
        hold off;
        set(handles.ecuacion,'String',strcat('Consumo Industrial =
',num2str(ecuacionPib(4,1)), ' + ',num2str(ecuacionPib(4,2)), ' PIB'));
        set(handles.ecuacionMM,'String',strcat('Consumo Industrial MM =
',num2str(ecuacionPibMM(4,1)), ' + ',num2str(ecuacionPibMM(4,2)), ' PIB'));
    end

    if estadoConsumo3 == 1 & estadoDepe2 == 1
        %Presentacion de graficas lineales contra pib. comercial
        linealPibComercial=handles.figLineal;
        plot(linealPibComercial,MatrizMedida(:,8),MatrizMedida(:,4),'+k');
        hold on;
        plot(linealPibComercial,MatrizMM(:,8),MatrizMM(:,4),'og');

        plot(linealPibComercial,MatrizMedida(:,8),EstimadoLinealPib(1:max(size(MatrizMedida)),3), 'r');

        plot(linealPibComercial,MatrizMedida(:,8),EstimadoLinealPibMM(1:max(size(MatrizMedida)),3), 'b');
        xlabel(linealPibComercial,'PIB');
        ylabel(linealPibComercial,'MW-h');
        title(linealPibComercial,'PIB vs Consumo Comercial');
        legend(linealPibComercial,'Consumo Medido','Consumo Suavizado Media Movil',strcat('Consumo Estimado R2=',num2str(correlaciones(8,3))), 'Consumo Estimado MM','Location','northwest')
        hold off;
        set(handles.ecuacion,'String',strcat('Consumo Comercial =
',num2str(ecuacionPib(3,1)), ' + ',num2str(ecuacionPib(3,2)), ' PIB'));
        set(handles.ecuacionMM,'String',strcat('Consumo Comercial MM =
',num2str(ecuacionPibMM(3,1)), ' + ',num2str(ecuacionPibMM(3,2)), ' PIB'));
    end

    if estadoConsumo2 == 1 & estadoDepe2 == 1
        %Presentacion de graficas lineales contra pib. residencial
        linealPibResidencial=handles.figLineal;
        plot(linealPibResidencial,MatrizMedida(:,8),MatrizMedida(:,3),'+k');
        hold on;
        plot(linealPibResidencial,MatrizMM(:,8),MatrizMM(:,3),'og');

```

## **ANEXO C**

Métodos de estimación aplicada en cada grupo de consumo, metodología aplicada por el  
CONELEC

Grupo de consumo	Variable endógena	Método	Variables exógenas / Criterio
Residencial	Clientes	Esquema Analítico	Población, viviendas y viviendas con energía eléctrica
	Consumo unitario	Modelo econométrico	Ingreso per cápita de Ecuador
Comercial	Clientes	Modelo econométrico	PIB de Ecuador
	Consumo total	Modelo econométrico	PIB de Ecuador
Industrial	Clientes	Modelo econométrico	PIB de Ecuador
	Consumo total	Modelo econométrico	PIB de Ecuador
Alumbrado Público	Clientes	Análisis de periodos anteriores	Se mantuvo constante el valor en último año histórico
	Consumo total	Modelo econométrico	Clientes residenciales totales

**Tabla C-1: Métodos de estimación aplicados en grupos de consumo**

**Fuente: CONELEC**

		2012 - 2021		2022 - 2032
Grupo de consumo	Variable endógena	Método	Variables exógenas	Método
Residencial	Clientes Res sin FERUM	Esquema Analítico	Población, viviendas y viviendas con energía eléctrica	Esquema Analítico ídem periodo anterior
	Clientes Res FERUM	Análisis de periodos anteriores	Valor promedio 2000 - 2011 constante	Valor promedio 2000 - 2011 constante
	Consumo unitario Res sin FERUM	Modelo econométrico	Ingreso per cápita de Ecuador	Se asumió crecimiento promedio 2011 - 2021
	Consumo unitario Res FERUM existente	Análisis de periodos anteriores	Se mantuvo constante el valor en último año histórico (2011)	Se mantuvo constante el valor en último año histórico (2011)
	Consumo unitario Res FERUM nuevo	Análisis de periodos anteriores	Se mantuvo constante el valor en último año histórico (2011)	Se mantuvo constante el valor en último año histórico (2011)
Comercial	Clientes	Modelo econométrico	PIB de Ecuador	Se asumió crecimiento promedio 2011 - 2021
	Consumo total	Modelo econométrico	PIB de Ecuador	Se asumió crecimiento promedio 2011 - 2021
Industrial	Clientes	Modelo econométrico	PIB de Ecuador	Se asumió crecimiento promedio 2011 - 2021
	Consumo total	Modelo econométrico	PIB de Ecuador	Se asumió crecimiento promedio 2011 - 2021
AP	Clientes	Análisis de periodos anteriores	Se mantuvo constante el valor en último año histórico (2011)	Se asumió crecimiento promedio 2011 - 2021
	Consumo total	Modelo econométrico	Clientes residenciales totales (con FERUM)	Se asumió crecimiento promedio 2011 - 2021

**Tabla C-2: Métodos de estimación aplicados en cada grupo**

**Fuente: CONELEC**



## **ANEXO D**

Tablas comparativas de estimación; EEQ S.A, CONELEC, Modelo lineal, no lineal univariable y multivariable.

MODELO LINEAL								
POTENCIA					ENERGÍA			
UNIDAD	MW	MW	MW	MW	MWh	MWh	MWh	MWh
AÑO	VARIABLE INDEPENDIENTE							
	AÑO	PIB	C. TOTALES	POBLACIÓN	AÑO	PIB	C. TOTALES	POBLACIÓN
2014	717,1	717,2	741,7	745,5	3822529	3833682	3791561	4028765
2015	735,3	727,9	755,8	781,6	3967217	3919803	3904527	4311174
2016	753,6	739,0	769,9	817,8	4111905	4008749	4018198	4593663
2017	771,8	750,4	784,2	853,9	4256594	4100613	4133472	4876141
2018	790,0	762,3	798,9	890,0	4401282	4195490	4251047	5158450
2019	808,2	774,5	813,8	926,2	4545970	4293478	4370921	5441460
2020	826,4	787,1	829,1	962,2	4690658	4394681	4494466	5723202
2021	844,7	800,1	845,0	998,1	4835346	4499203	4622261	6003542
2022	862,9	813,6	860,9	1059,6	4980035	4607153	4749702	6484619

**Tabla D-1: Modelo lineal**  
**Fuente:** Autoría propia

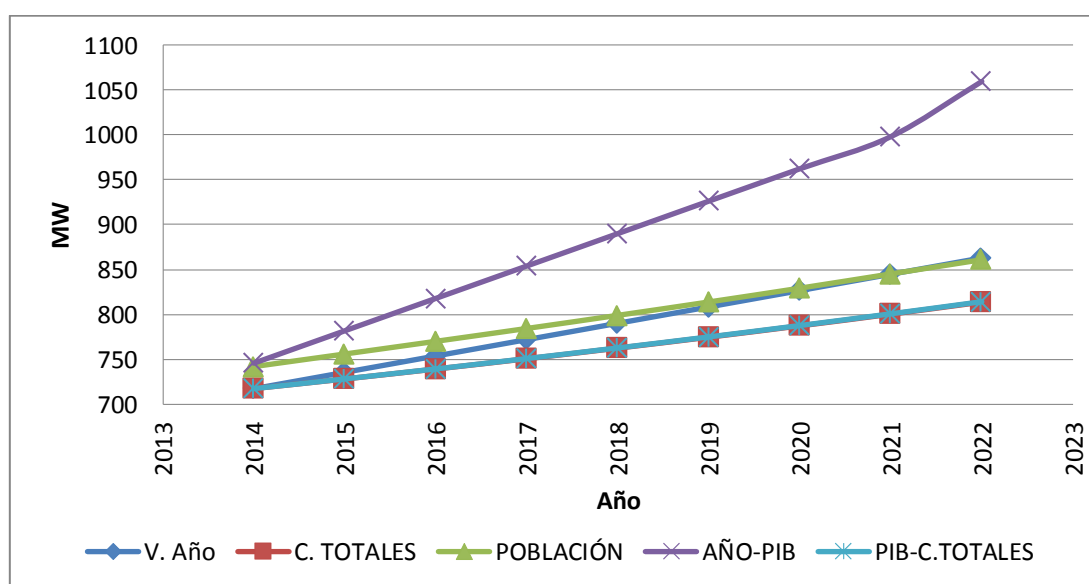
MODELO LINEAL								
POTENCIA					ENERGÍA			
UNIDAD	MW	MW	MW	MW	MWh	MWh	MWh	MWh
AÑO	VARIABLE INDEPENDIENTE							
	AÑO	PIB	C. TOTALES	POBLACIÓN	AÑO	PIB	C. TOTALES	POBLACIÓN
2014	717,1	717,2	741,7	745,5	3822529	3833682	3791561	4028765
2015	735,3	727,9	755,8	781,6	3967217	3919803	3904527	4311174
2016	753,6	739,0	769,9	817,8	4111905	4008749	4018198	4593663
2017	771,8	750,4	784,2	853,9	4256594	4100613	4133472	4876141
2018	790,0	762,3	798,9	890,0	4401282	4195490	4251047	5158450
2019	808,2	774,5	813,8	926,2	4545970	4293478	4370921	5441460
2020	826,4	787,1	829,1	962,2	4690658	4394681	4494466	5723202
2021	844,7	800,1	845,0	998,1	4835346	4499203	4622261	6003542
2022	862,9	813,6	860,9	1059,6	4980035	4607153	4749702	6484619

**Tabla D-2: Modelo polinomial**  
**Fuente:** Autoría propia

UNIDAD	MODELO MULTIVARIABLE	
	POTENCIA	ENERGÍA
	MW	MWh
AÑO	VARIABLES INDEPENDIENTES	
	AÑO/PIB	PIB/CT
2014	717,2	3791539
2015	728,0	3904492
2016	739,2	4018150
2017	750,7	4133412
2018	762,6	4250975
2019	774,8	4370839
2020	787,5	4494375
2021	800,6	4622162
2022	814,1	4749595

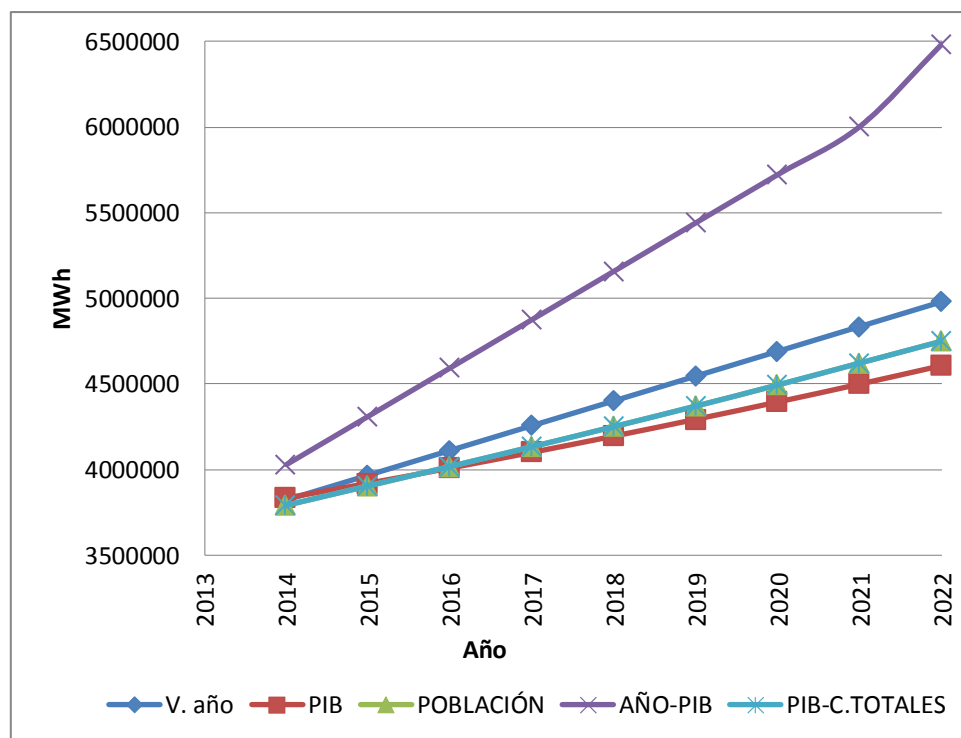
**Tabla D-3:** Modelo multivariable

**Fuente:** Autoría propia



**Figura D-1:** Comparación de estimaciones de potencia entre modelos

**Fuente:** Autoría propia



**Figura D-3:** Comparación de estimaciones de energía entre modelos  
**Fuente:** Autoría propia

## **ANEXO E**

Diagrama de flujo Estimación de la Demanda de Energía Eléctrica

